

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ "Криворізький національний університет"

ГІРНИЧИЙ ВІСНИК

Науково-технічний збірник

Заснований у 1966 році

Випуск 103

Кривий Ріг, 2018

Редакційна колегія: **Ступнік М.І.**, д-р техн. наук, проф. (головний редактор); **Моркун В.С.**, д-р техн. наук, проф. (заступник головного редактора); **Азарян А.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Андрєєв Б.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Бережний М.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Березовський А.А.**, д-р геол. наук, проф.; **Блізнюков В.Г.**, д-р техн. наук, проф.; **Бровко Д.В.**, канд. техн. наук., доц.; **Вілкул Ю.Г.**, д-р техн. наук, проф.; **Голік В.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Губін Г.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Гурін А.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Євтехов В.Д.**, д-р геол.-мінерал. наук, проф.; **Жуков С.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Зубов Д.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Ільяс Ніколає**, доктор-інженер, проф.; **Калініченко В.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Ковальчук В.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Комащенко В.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Коробко В.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Лапшин О.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Моркун Н.В.**, д-р техн. наук., доц.; **Олійник Т.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Перегудов В.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Рудь Ю.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Самуся В.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Сидоренко В.Д.**, д-р техн. наук, проф.; **Стороженко Л.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Титюк В.К.**, канд. техн. наук, доц.; **Толмачов С.Т.**, д-р техн. наук, проф.; **Федоренко П.Й.**, д-р техн. наук, проф.

Збірник індексується в наукометричних базах даних Google Scholar, Index Copernicus, Research Bible, Academic Keys та ін., в загальнодержавній реферативній базі даних «Україніка наукова» (реферативний журнал «Джерело»). Збірник надсилається до Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського НАН України та провідних наукових бібліотек України.

У матеріалах збірника викладено результати досліджень у галузі технічних наук. Розглянуто шляхи підвищення ефективності промислових виробництв, автоматизації, контролю та керування технологічними процесами. Важливе місце займають питання енергозбереження, надійності охорони праці, техніки безпеки, захисту довкілля.

Наукові статті збірника рекомендовані науковим та інженерно-технічним працівникам, студентам, магістрантам й аспірантам.

Випуск № 103 рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет Вченою радою ДВНЗ «Криворізький національний університет» (протокол № 8 від 24.04.2018 року).

Адреса редакції: ДВНЗ «Криворізький національний університет»
вул. Пушкіна, 44, Кривий Ріг, 50002,
Тел. (056) 409 61 29
e-mail: naukaknu@ukr.net
web-сайт: iomining.in.ua/ua/homeua

Зміст

Сидоренко В.Д., Ковтун В.Я., Куриляк І.С., Ковтун М.В. Методи і технології геоінформаційного автоматизованого деформаційного моніторингу як економічно-ефективний підхід збереження небезпечних об'єктів і територій в Україні та Кривбасі	3
Валовой О.І., Попруга Д.В., Люльченко Є.В., Чорна К.В. Визначення прогинів згинальних елементів армованих склопластиковою і металевою арматурою	7
Настич О.Б., Хоруженко І.В. Удосконалення методів розрахунку та проектування підпірних стін з урахуванням розділення на складові частини коефіцієнтів запасу міцності	12
Шолох М.В., Сергєєва М.П. Моделювання характеристик об'ємно-якісних показників потоків залізородної маси кар'єрів і шахт	17
Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Підвищення ефективності процесів суміщення лиття-прокатування за рахунок збільшення швидкості кристалізації металу в машині безперервного лиття заготовок	23
Наливайко В.Г., Мовчан О.Г., Лосєєв К.В. Важность определения травмоопасности основных видов ремонтных работ на теплогенерирующих предприятиях	27
Савицький О.І., Тимошенко М.А. Розробка мультиагентної системи керування трьохстадійним збагаченням залізної руди з застосуванням методів нечіткого керування	32
Часова Е.В., Демчишина О.В., Борисенко В.В., Лисенко В.І. Фотометричне визначення аніонних поверхнево-активних речовин	36
Калініченко В.О., Письменний С.В., Бровко Д.В., Калініченко О.В. Моделювання стійкості штучних споруд при розробці залізних руд	39
Лобов В.Й., Лобова К.В. Теплові режими силових елементів перетворювача при керуванні асинхронним електродвигуном	45
Шолох М.В. Вплив втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин на процес усереднення	50
Валовой О.І., Охрімчук В.Л., Валовой М.О. Створення розрахункової моделі протяжної кам'яної будівлі для визначення зусиль при сейсмічних впливах	56
Рибальченко О.Г., Шаповалова Н.Н., Білашенко С.В. Багатопотокові обчислення в оптимізації функціоналу якості моделей машинного навчання методом імітації відпалу	60
Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Савенко В.О., Хоруженко І.В. Особливості виготовлення фізичних моделей конструкцій (підпірних стін та фундаментів-оболонки) із застосуванням сучасних технологій	66
Косенко А.В. Шляхи підвищення ефективності розробки покладів природно-багатих залізних руд в умовах великих глибин	70
Швагер Н.Ю., Заїкіна Д.П. Аналіз систем управління охороною праці зарубіжних країн	75
Латишин О.Є., Латишин О.О., Латишина Д.О. Перспектива провітрювання при відкрито-підземній розробці родовищ залізних руд	80
Кузьменко А.С., Коломіц Г.В. Дослідження актуальності використання сонячного магніто-левітаційного двигуна	86
Андреев Б.Н., Сергеев С.С. Моделирование напряженно-деформированного состояния массива на участке строительства параллельных выработок	90
Пересунько І.І., Беднов Е.С., Кіянчук В.М., Курочкін Ю.В. Діагностика стану параметрів синхронних електроприводів шахтних насосних установок	95
Сайтгарєєв Н.Х., Шаповалова Н.Н. Числове розв'язання крайової задачі теплопровідності з використанням бібліотеки наукових розрахунків SciPy	99
Савельєв С.Г. Аналіз показателей интенсивности процессов производства окисленных железорудных окатышей	105
Маланчук Є.З., Волк П.П., Васильчук О.Ю., Заєць В.В., Семенюк В.В. Оцінка рівня екологічної безпеки в межах зберігання гірничих відходів фосфогіпсу	110
Швець Д.В. Автоматизоване керування процесом подрібнення магнетитових руд на основі визначення їх міцності	115
Шолох М.В. Ефективність методів прогнозування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах	120
Сінчук О.М., Сінчук І.О., Берідзе Т.М. Аналіз факторів енергетичної безпеки України	126
Жуков С.А., Луценко С.А. Перераспределение производительности группы карьеров, входящих в состав горно-обогатительного комбината	132
Азарян А.А., Котов І.А. Структурно-логічна модель фактів як засіб репрезентації характеристик компонентів електроенергетичних систем	137
Тімченко Р.А., Попов С.О., Кришко Д.А., Мацьшин С.О. Защитный экран из труб для тоннелей в городской застройке	142
Білашенко С.В., Шаповалова Н.Н., Рибальченко О.Г. Розпізнавання зображень за допомогою згорткових нейронних мереж з використанням бібліотеки Keras	148

<i>Латишин О. Є., Худик М. В.</i> Огляд існуючих конструкцій пилоосаджувальних камер для очищення аспіраційного повітря	154
<i>Валовой О.І., Єрьоменко О.Ю., Валовой М.О., Волков С.О.</i> Виготовлення зразків балок зі змішаним армуванням базальтовою та металевою арматурою	159
<i>Дворніков В.А., Мельниченко Н.П., Шамрай О.В.</i> Методологічні проблеми вивчення фундаментальних та загальноінженерних дисциплін в умовах перебудови технічної освіти	164
<i>Федотов В. А., Сёмочкин А. Б.</i> К вопросу автоматизации позиционирования вагонеток электровозосоставов при погрузочно-разгрузочных операциях в условиях железорудных шахт Кривбасса	169
<i>Мец Ю.С., Антонов А.Ю.</i> Україне – европейские дороги	174
<i>Пересунько І.І., Кравченко Д.С., Браславський А.С., Шерстньов Ю.В.</i> Вплив змін напруги і частоти мережі живлення на роботу синхронних двигунів	178
<i>Голишев О.М., Коновалюк В.А., Михалків Д.В., Філонова К.О.</i> Перспективи застосування систем вентиляції зі змінною витратою повітря в умовах будівель навчальних закладів	182
<i>Скачков А.А.</i> Особенности формирования динамических зон в разрушаемом взрывом массиве при дифференцированном его энергонасыщении	186
<i>Замицький О.В., Омельчук Д.В.</i> Аналіз існуючих способів сушки тонкодисперсних матеріалів	191
<i>Мацуї А.М.</i> Теоретичне дослідження ідентифікації середньозваженої крупності розвантаження кульового млина і пісків односпірального класифікатора	197
<i>Тищук В.Ю., Ковальова І.Б., Кривенко Т.А.</i> Развитие основ биохимического очищения сточных вод коксохимических производств	203
<i>Golik V.I., Dzaparov V.Kh., Kharebov G.Z., Morkun V.S., Morkun N.V., Tron V.V.</i> Information technologies in designing mining objects	209
<i>Brovko D.V., Khvorost V.V., Tyshchenko V. Yu.</i> Safe operation of surface objects	217
АНОТАЦІЇ ..	
<i>А н о т а ц і ї ..</i>	222

Гірничий вісник

Науково-технічний збірник

Випуск 103

Редактор, коректор
Комп'ютерний набір, верстка

Наумова Н.В.
Підпригора Н.П.

*Здано в набір 21.04.18 р. Підписано до друку 25.04.18 р. за рекомендацією Вченої Ради
ДВНЗ «Криворізький національний університет», протокол № 8 від 24.04.2018 р.*

Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 300,0 Тираж 100 прим.

Замовл. № 8. Укр., рос.

Надруковано:
ФОП Бутова Оксана Анатоліївна
Свідоцтво ДП № 159-р від 26.03.13.
50084 м. Кривий Ріг, мкр. Ювілейний, 10/104
Тел. 067 7733717

Адреса видавництва: вул. Віталія Матусевича, 11, Кривий Ріг, 50027
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

В.Д. СИДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., Криворізький національний університет
В.Я. КОВТУН, магістр, віце-президент УТГК, провідний науковий спеціаліст
І. С. КУРИЛЯК, канд. техн. наук, Інститут геоінформаційних технологій
М.В. КОВТУН, канд. екон. наук, ПНВП «УКРКОВІД»

МЕТОДИ І ТЕХНОЛОГІЇ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ДЕФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ЯК ЕКОНОМІЧНО-ЕФЕКТИВНИЙ ПІДХІД ЗБЕРЕЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І ТЕРИТОРІЙ В УКРАЇНІ ТА КРИВБАСІ

Мета. У статті розглянуто питання використання геоінформаційних технологій, які допомагають фахівцям у моніторингу довкілля. Геологічні процеси налічують мільйони років, в результаті такої активності отримуємо катастрофи антропогенної властивості, здатні забрати сотні тисяч людських життів і завдати народному господарству непоправних втрат.

Методи: наведені сучасні методи та технології, які показують доцільність і необхідність застосування автоматизованої системи деформаційного моніторингу – АСДМ для створення єдиного геоінформаційного простору в Україні та Криворізькому гірничовидобувному регіоні. Для збереження великих територій та проблемних об'єктів, інженерних споруд необхідно створення геоінформаційних моніторингових центрів із застосування апаратних засобів, ГНСС приймачів, високоточних роботизованих електронних тахеометрів, цифрових інклінометрів, акселерометрів, систем екстреного он-лайн сповіщення та вимірювання резонансних частот, обліку метеорологічних і інших даних та інформаційного забезпечення.

Наукова новизна: з метою підвищення безпеки гідротехнічних споруд на ГЕС впроваджуються автоматизовані системи контролю їх стану, що є складовою частиною системи забезпечення безпеки гідротехнічних споруд.

Практична значимість: економічність та рентабельність застосування автоматизованої системи деформаційного моніторингу – АСДМ для створення єдиного геоінформаційного простору в Україні та Криворізькому гірничовидобувному регіоні має велике значення для безпечності і запобігання екологічних та інших катастроф.

Результати: створення системи моніторингу має враховувати структуру та вимоги до інформаційних ресурсів, технічне, програмне забезпечення, обґрунтування технологічних процесів, математичні методи аналізу, моделювання та прогнозування деформаційних процесів. Виконання аналізу отриманих результатів передбачає моделювання деформаційних процесів та прогнозування стану території довкілля для оперативного реагування на небезпечні зміни, формування аналітичної звітної та іншої документації та розроблення вимог щодо удосконалення та змін в системі моніторингу. Проектування системи моніторингу має здійснюватись на основі загальноприйнятих інструментальних ГІС та систем керування базами даних з функціями підтримки геопросторових даних згідно з міжнародними стандартами. Економічність та рентабельність таких рішень має велике значення для безпечності і запобігання екологічних та інших катастроф.

Ключові слова: моніторинг, геоінформаційна система, гірничовидобувний регіон, геологічні процеси, деформація, ГНСС приймач, електронний тахеометр, рентабельність, антропогенні властивості.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-3-7

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Проблеми, що зв'язані з масштабними інженерно-технічними спорудами, їх експлуатації, запобіганню виникнення надзвичайних ситуацій та ліквідації їх наслідків, збереження природного середовища та раціонального природокористування потребують постійного організаційного, методичного та технічного удосконалення їх вирішення. Особливо, це відноситься до геолого-техногенних систем, що зв'язані з добуванням корисних копалин відкритим та закритим способами та їх переробкою.

В першу чергу вирішення потребують задачі розроблення системи постійного моніторингу за станом інженерних споруд, моделювання, прогнозу та впливу їх на довкілля з метою прийняття управлінських рішень щодо дотримання вимог екологічної безпеки; методики виконання спостережень та технічних засобів для спостереження деформаційних процесів. Для вирішення цих завдань слід виконати аналіз та дослідження можливостей існуючих систем моніторингу з урахуванням використання сучасних засобів вимірювання.

Постановка завдання. Метою цієї роботи є обґрунтування вимог з врахуванням специфіки інженерних споруд щодо створення постійно діючої автоматизованої системи деформаційного моніторингу – АСДМ, яка є комплексом апаратно-програмних засобів, що включає в себе сучасне геодезичне обладнання, комунікаційну апаратуру, комп'ютерне обладнання, а також програмне забезпечення для управління засобами збору та обробки даних, візуалізації визначених параметрів, аналізу результатів і формування звітів і повідомлень. АСДМ повинна бути доповнена

набором цифрових датчиків, встановлених в критичних точках елементів конструкції споруди - інклінометри, акселерометри, системи вимірювання резонансних частот, обліку метеорологічних та інших даних.

Виклад основного матеріалу дослідження. Застосування автоматизованої системи геодезичного моніторингу деформацій дозволяє оперативно контролювати стан споруди, горизонтальні та вертикальні зміщення, крени і прогини, що виникають в результаті впливу зовнішніх природно-кліматичних впливів, а також інтенсивного навантаження. Важливою функцією системи також є миттєве оповіщення співробітників служби експлуатації споруди та служби швидкого реагування (поліція, служби порятунку та ін.) Про потенційно небезпечній ситуації в разі перевищення допустимих деформацій конструкції. Це збільшує ступінь безпеки життєдіяльності та дозволить уникнути важких наслідків в разі надзвичайної ситуації.

У межах проекту вдосконалення роботи гідроелектростанцій в Україні, фахівці створили автоматизовану систему деформаційного моніторингу – АСДМ, до складу якої входять: роботизовано електронні тахеометри, ГНСС приймачі, інклінометри, працюючі синхронно, і передавальні результати спостережень в єдиний центр обробки даних. Основна ідея системи моніторингу полягає в інтеграції різних компонентів геодезичних вимірювань для досягнення максимальної точності і надійності результатів. З метою підвищення безпеки гідротехнічних споруд на ГЕС впроваджуються автоматизовані системи контролю їх стану, що є складовою частиною системи забезпечення безпеки гідротехнічних споруд [1-3].

Протягом 2001-2009 років впроваджено Автоматизовані системи контролю безпеки гідротехнічних споруд на Київській, Кременчуцькій та Каховській ГЕС, що дало можливість щохвилини в режимі он-лайн забезпечити контроль стану споруд на високому технічному рівні, така ж технологія застосована на Дністровській ГЕС, Канівській ГЕС, Дніпровській ГЕС, Кам'янській ГЕС. Проект здійснювався за кредитні кошти Світового Банку.

Автоматизована система моніторингу надсилає результати добових ГНСС-спостережень. Для проведення обробки результатів вимірювань, отриманих системою автоматизованого деформаційного моніторингу, в програмному пакеті необхідно знати найстабільніші пункти мережі, тобто необхідно визначити просторові положення пунктів на епоху відповідного циклу спостережень з урахуванням зміщення всіх пунктів мережі і вибрати найбільш стабільні пункти. Для цього, використовуючи величини проекцій вимірюваних векторів на відповідні координатні осі Δx , Δy , Δz , для кожного повторного циклу спостережень виконано врівноваження параметричним методом. За цими даними знайдено середні квадратичні відхилення проекції вектора між всіма пунктами від його середньої величини. Також обчислено ненормовані і нормовані кінематичні коефіцієнти для кожного пункту, величини яких свідчать стабільність пунктів. За величинами середньо вагових зсувів по осях координат кожної пари пунктів з урахуванням кінематичних коефіцієнтів знайдено середньо ваговий зсув усієї мережі, викликаний її деформацією, зміщення середньої висоти мережі за результатами врівноваження і кінцеві зміщення пунктів, викликані деформацією мережі. За результатами врівноваження кожного циклу отримані середні квадратичні похибки (СКП) визначення координат з урахуванням похибок вимірювань і похибок моделювання кінематики пунктів. Отримані результати використані для визначення найстабільніших пунктів мережі. Отримані загальні зміщення пунктів відносно першого циклу спостережень та середньоквадратичні похибки просторового положення пунктів з урахуванням похибок вимірів і похибок кінематики мережі. Максимальні зміщення склали на пунктах АСР1, МР3 (рис. 1), зміщення на інших визначались незначними величинами. Методика визначення СКП мережі, що викликано її деформацією та похибками вимірів, дає змогу проводити аналіз стійкості пунктів з урахуванням кінематики кожного пункту, а також вибирати найстабільніші пункти мережі. Застосування цієї методики дає змогу використовувати спеціалізоване програмне забезпечення



Рис. 1. Мережа ГНСС спостережень

для опрацювання результатів, одержаних системою автоматизованого моніторингу [4].

У подальшому планувалось встановити автоматизовану систему деформаційного моніторингу – АСДМ в Криворізькому регіоні (рис. 2), робота в цьому напрямку почала вестись з 2012 року, коли українська делегація на чолі з провідними науковими спеціалістами Криворізького національного університету відвідала головний офіс Leica Geosystems в Швейцарії та був підготовлений меморандум спільної співпраці цьому напрямку наукової та технічної діяльності заради попередження екологічної та інших катастроф [5-6]. Передумовами цього послужили загальні обставини в регіоні.

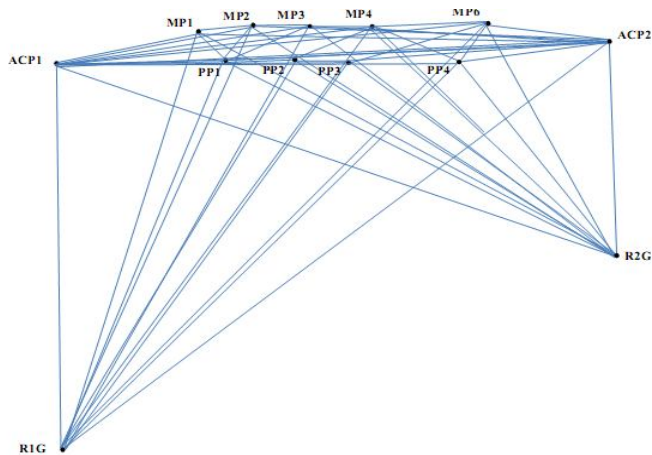


Рис. 2. Криворізький регіон

Геологічні процеси обчислюються мільйонами років, в результаті такої активності отримуємо катастрофи антропогенної властивості, здатні забрати багато сотень тисяч людських життів і завдати народному господарству непоправних втрат. Як доказ такий техногенно-насичений регіон, як південний схід України, Кривий Ріг. Саме тут протягом понад двох століть із надр було «вийнято» близько трьох мільярдів тон багаті руди і в десятки разів більше залістих кварцитів. Нині у порівнянні

з минулим темпи видобутку корисних копалин вирости в рази. Тільки за останні десятиліття підприємства ГМК міста переробили понад 480 млн. тонн залізної руди [7-9]. В результаті регіон отримав ряд серйозних екологічних проблем, до яких можна віднести порушення гідродинамічного режиму підземних вод, забруднення поверхневих вод, ґрунту, атмосферного повітря. До цього варто додати істотні зміни геологічних, гідрогеологічних та гідрологічних станів навколишнього середовища. Причин безліч: шахти, кар'єри, знамениті криворізькі відвали і шламосховища (рис. 3), які тиснуть на поверхню, скидання в місцеві річки щорічно до 30 млн. м³ високо-мінералізованих вод. Сучасний стан цієї системи такий, що Кривий Ріг буквально висить над безоднею.



Рис. 3. Фрагмент руйн шламосховища м. Кривий Ріг на космічному знімку

Для вирішення цієї проблеми необхідно створення єдиної системи моніторингу АСДМ (рис. 4) для Криворізького залізорудного регіону, Полтавського ГЗК і Нікопольського марганцево-рудного басейну, в рамках якої повинно бути розроблено:

- нормативно-правова та методична база функціонування системи;
- технічний проект та обґрунтування створення геодезичної основи, місць розміщення деформаційних марок та датчиків, технології, точності та періодичності вимірів, методів обробки інформації;

- технічний проект на створення системи моніторинга, баз геоінформаційних ресурсів та даних періодичних спостережень;

геоінформаційна система обліку та підтримки інформаційних ресурсів, аналізу, моделювання, планування та прогнозування стану довкілля для оперативного реагування на небезпечні зміни, формування аналітичної звітної документації тощо;
 технічні вимоги до структури, складу та форматів електронних документів для обміну між суб'єктами системи;
 процедури обміну інформацією з іншими системами моніторингу та кадастрів[10].

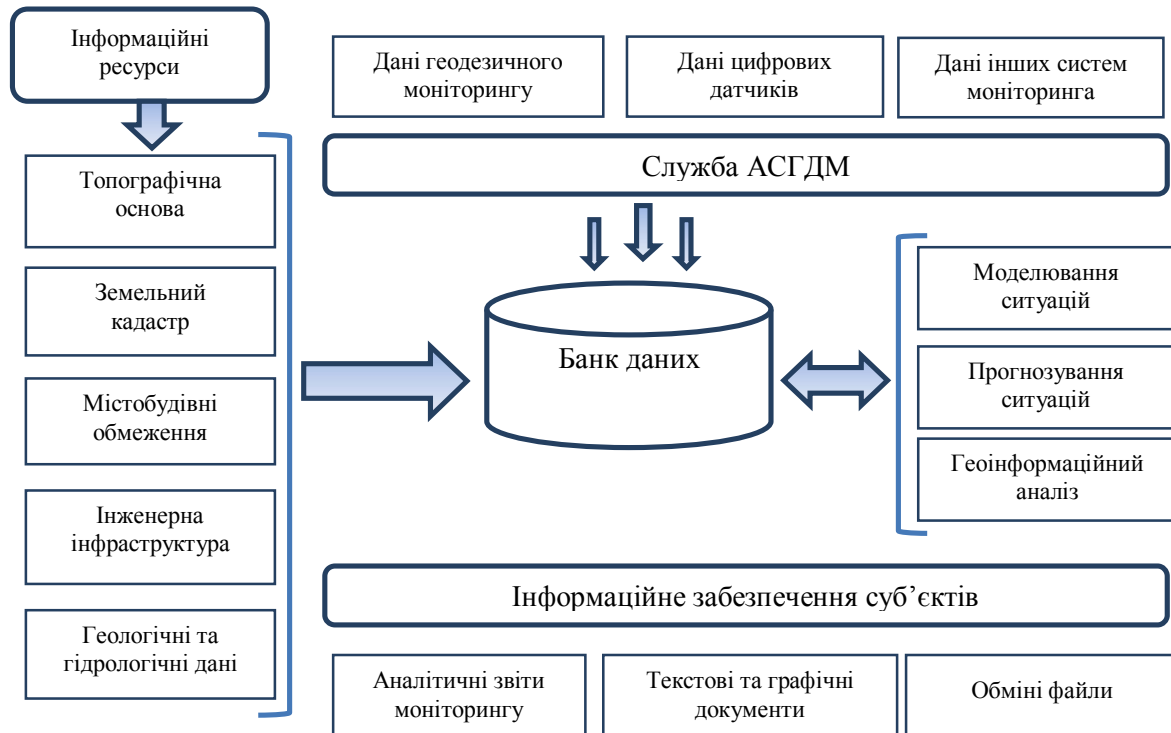


Рис. 4. Узагальнена схема системи АСДМ

Висновок. Наведені сучасні методи та технології показали доцільність і необхідність застосування автоматизованої системи деформаційного моніторингу – АСДМ для створення єдиного геоінформаційного простору в Україні та Криворізькому гірничовидобувному регіоні. Для збереження великих територій та проблемних об'єктів, інженерних споруд необхідно створення геоінформаційних моніторингових центрів з застосування апаратних засобів, GNSS приймачів, високоточних роботизованих електронних тахеометрів, цифрових інклінометрів, акселерометрів, систем екстреного он-лайн сповіщення та вимірювання резонансних частот, обліку метеорологічних і інших даних та інформаційного забезпечення. Економічність та рентабельність таких рішень має велике значення для безпечності і запобігання екологічних та інших катастроф.

Список літератури

1. Шульц Р.В., Анненков А.А., Терещук А.И. Архитектура современных систем мониторинга на базе GNSS-технологий / Инженерные изыскания, №2-3, 2014
2. Ковтун В.Я., Застосування нової гіроскопічної насадки GYROMAX АК-2М фірми GMT для виконання орієнтування в підземних умовах / М.В. Білоус., В.Я. Ковтун., С.В. Марчук., О.Д. Рошин, І.С. Тревого // Сучасні досягнення геодезичної науки і техніки (I). - 2009. – С. 141-143.
3. Кемниц Ю.В. Теория ошибок измерений / Ю.В. Кемниц. – М.: Недра, 1967. - 178 с.
4. Neuhierl T. How to Transfer Geodetic Network Orientation through Deep Vertical Shafts – An Inertial Approach / T. Neuhierl, K. Schnädelbach, T.A. Wunderlich, H. Ingensand, A. Ryf/ - XXIII FIG Congress Munich, Germany, October 8-13, 2006. – 12 p.
5. Сидоренко В.Д., Куліковська О.Є., Чумак С.С. Использование информационного центра маркшейдерско-геодезического обеспечения для контроля состояния окружающей среды Криворожского региона / Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, 2002 (13)- с. 61-65.
6. Сайт гео-приладів [Електронний ресурс].–Режим доступу : http://ugm.com.ua/index.php?dispatch=categories.view&category_id=184
7. Gutman G. et al. (eds.) Land Change Science. Kluwer Academic Publishers. – 2004. С. 367–377.
8. Зацерковний В.І. Використання геоінформаційних технологій в екологічному моніторингу Чернігівської області / В.І. Зацерковний, С.В. Кривоберець, Ю.С. Сімакін // Аграрний вісник Причорномор'я. Технічні науки. – Оде-

са: ОДАУ, 2009. – Вип. 51. – С. 82–86.

9. Земельний кодекс України. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2768-14/print1359097722408914>.

10. Міністерство екології та природних ресурсів України. Інформаційно-аналітичний центр Державної системи моніторингу довкілля [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ecobank.org.ua/About/Pages/InformationScheme.aspx>

11. Ковтун В.Я., Войтенко С.П. Тенденції використання багатомірного розподілу при аналізі результатів геодезичних вимірювань / Інженерна геодезія. Науково-техн. збірник -2008 р. - Вип. 54. – с. 27-31.

Рукопис подано до редакції 26.04.2018

УДК 691.175; 69.04

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф., Д.В. ПОПРУГА, Є.В. ЛЮЛЬЧЕНКО, кандидати техн. наук, доценти, К.В. ЧОРНА, аспірант, Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГИНІВ ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ АРМОВАНИХ СКЛОПЛАСТИКОВОЮ І МЕТАЛЕВОЮ АРМАТУРОЮ

Мета. Метою роботи є аналіз прогинів дослідних балок армованих склопластиковою і металевою арматурою.

Методи дослідження. Математичне моделювання дослідних зразків у розрахунково-обчислювальному комплексі SCAD Office в лінійній постановці з урахуванням об'ємного напруженого стану.

Наукова новизна. Визначені деформації нормального перерізу дослідних балок в залежності від матеріалу робочої арматури, а при комбінованому армуванні - відсотка склопластикової та металевої арматури.

Практична значимість. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та виготовленні згинальних будівельних конструкцій армованих склопластиковою арматурою.

Результати. При використанні в якості робочої арматури склопластикової арматури 3Ø10 АКС 800, аналогічного діаметра з металевою 3Ø10 А 400С, відбувається збільшення деформацій прогинів на 7,74 %. Збільшення площі розтягнутої склопластикової арматури на 23,43 % призводить до зниження деформацій прогинів до рівня 6,45 %, тобто на 16,7 % менше у порівнянні з 3Ø10 АКС 800. При збільшенні площі розтягнутої склопластикової арматури на 77,83 % відбувається зниження деформацій прогинів до рівня 4,90 %, тобто на 36,7 % менше у порівнянні з 3Ø10 АКС 800.

Зменшення площі робочої склопластикової арматури, за рахунок включення в розтягнуту зону металевого стежня Ø10 А400С, призводить до зменшення деформацій прогинів дослідних балок на 36-36,7 % у порівнянні з балками, що мають суцільне композитне армуванням розтягнутої зони.

Більш значні прогини балок армованих у розтягнутій зоні склопластиковою арматурою і комбінованим армуванням, у порівнянні з металевим армуванням, пояснюються модулем пружності склопластикової арматури, який приблизно в чотири рази менший за аналогічний показник металевої арматури.

Розвиток подальших досліджень буде спрямовано на моделювання напружено-деформованого стану балок з урахуванням фізичної нелінійності матеріалів.

Проведення натурального експерименту і порівняння отриманих результатів з аналітичними даними, дозволить вдосконалити існуючу методику розрахунку будівельних конструкцій армованих композитною арматурою.

Ключові слова: склопластикова арматура, деформації, прогин, переріз, навантаження, вузол, модуль пружності.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-7-12

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Композитна арматура набуває широкого застосування у будівельній галузі України. Фізико-механічні властивості композиту дозволяють частково або повністю замінити сталеву арматуру. Однією з основних переваг цього матеріалу є висока корозійна стійкість, що дає змогу збільшити період експлуатації бетонних конструкцій, які піддаються впливу агресивного середовища [1-3,5-6].

Найбільше поширення скло- і базальтопластикова арматура набула у конструкціях, що працюють на пружній основі, наприклад, фундаментах [1-3]. В згинальних будівельних конструкціях її використання обмежене, оскільки модуль пружності композиту значно менший ніж у металевої арматури [1-3,9,13].

Визначення необхідних передумов використання композитної арматури в згинальних елементах є актуальним завданням, що дозволить значно розширити сферу її використання і зменшити кошторисну вартість будівництва.

Наукове дослідження проводиться в рамках науково-дослідної роботи НР/П-81-17 (РК№ 0118U000118) "Дослідження роботи склопластикової арматури в згинальних елементах

виготовлених з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів".

Аналіз досліджень і публікацій. Науковці останнім часом приділяють підвищену увагу аналізу напружено-деформованого стан будівельних конструкцій армованих скло- і базальтопластиковою арматурою. Особливо досліджуються умови анкерування композитної арматури і використання полімерних матеріалів у якості зовнішнього армування [1-15].

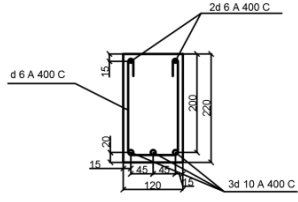
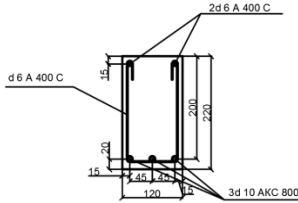
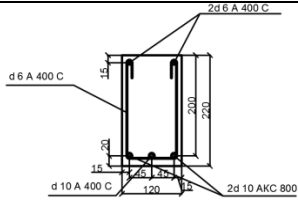
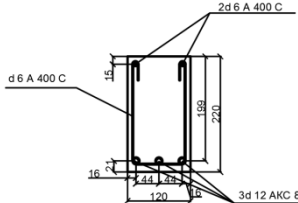
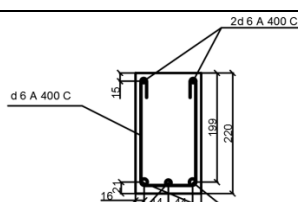
Вирішенню вказаних проблемних питань присвятили свої роботи: Ю.А. Клімов, О.С. Солдатченко, Д.О. Орішкін, Л.А. Мурашко, П.М. Коваль, О.Я. Гримак, І.П. Гамеляк, В.С. Дорофєєв, М.В. Заволока, Д.Р. Маїлян, А.Я. Мурич, В.В. Малиха та ін.

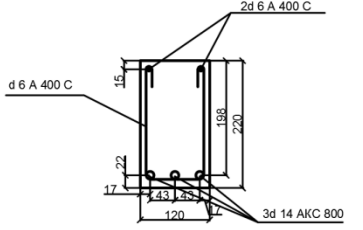
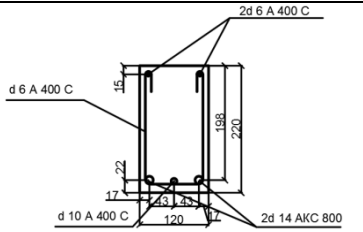
Постановка завдання. Перед авторами стоять наступні завдання: визначити прогини дослідних балок зі склопластиковим, металевим і комбінованим армуванням розтягнутої зони; виявити залежність між площею склопластикової робочої арматури і зміною рівня деформацій (прогинів).

Викладення матеріалу та результати. Згідно програми наукового дослідження (табл. 1) планується визначити напружено-деформований стан дослідних балок армованих склопластиковою, металевою арматурою і комбінованим армуванням у розтягнутій зоні.

Таблиця 1

Програма наукового дослідження

Серії балок	Найменування серії	Поперечний переріз, мм	Примітки
Б1	Балки з металевою арматурою 3Ø10 A400C у розтягнутій зоні (контрольна серія)		Бетон C20/25
Б2	Балки зі склопластиковою арматурою 3Ø10 АКС 800 у розтягнутій зоні		АКС - арматура композитна склопластиковою
Б3	Балки з металевою арматурою Ø10 A400C і склопластиковою арматурою 2Ø10 АКС 800 у розтягнутій зоні (комбіноване армування)		
Б4	Балки зі склопластиковою арматурою 3Ø12 АКС 800 у розтягнутій зоні		
Б5	Балки з металевою Ø10 A400C і склопластиковою арматурою 2Ø12 АКС 800 у розтягнутій зоні (комбіноване армування)		

<p>Б6</p>	<p>Балки зі склопластиковою арматурою 3Ø14 АКС 800 у розтягнутій зоні</p>		
<p>Б7</p>	<p>Балки з металевою Ø10 A400C і склопластиковою арматурою 2Ø14 АКС 800 у розтягнутій зоні (комбіноване армування)</p>		

Робота дослідних зразків відбувається за схемою однопролітної вільнолежачої балки завантаженої двома зосередженими силами у третинах розрахункового прольоту (рис. 1).

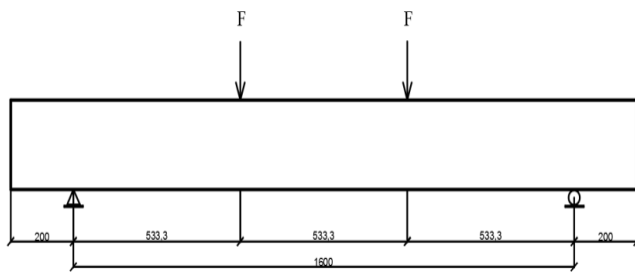


Рис. 1. Схема завантаження дослідних балок

Для аналізу напружено-деформованого стану (НДС) дослідних зразків використане математичне моделювання в розрахунково-обчислювальному комплексі SCAD Office. Дослідження НДС бетонних балок виконане в лінійній постановці з урахуванням об'ємного напруженого стану. Бетон балки представлений об'ємними кінцевими елементами типу жорсткості 31. При моделюванні металевої і композитної арматури, на основі скляного ровінгу, був прийнятий кінцевий елемент типу 10 (рис. 2).

При моделюванні металевої і композитної арматури, на основі скляного ровінгу, був прийнятий кінцевий елемент типу 10 (рис. 2).

a)

7828	7929	8030	8131	8232	8333	8434
7121	7222	7323	7424	7525	7626	7727
6414	6515	6616	6717	6818	6919	7020
5707	5808	5909	6010	6111	6212	6313
5000	5101	5202	5303	5404	5505	5606
4293	4394	4495	4596	4697	4798	4899
3586	3687	3788	3889	3990	4091	4192
2879	2980	3081	3182	3283	3384	3485
2172	2273	2374	2475	2576	2677	2778
1465	1566	1667	1768	1869	1970	2071
758	859	960	1061	1162	1263	1364
51	152	253	354	455	556	657

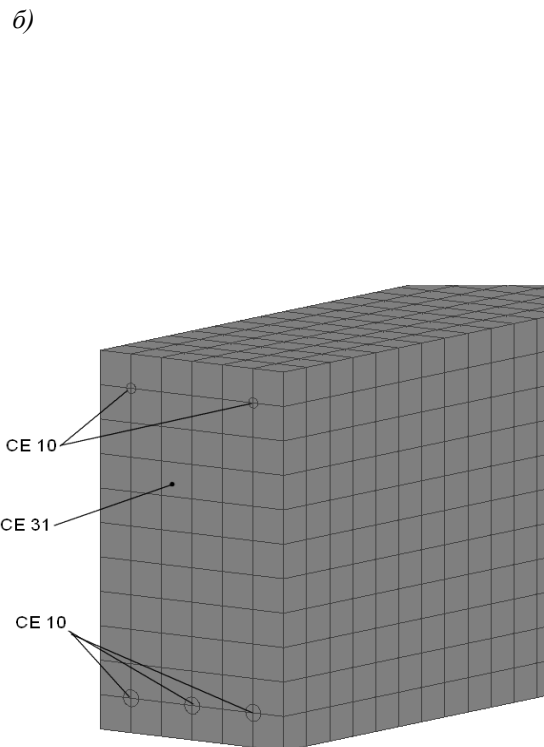


Рис. 2. Математичне моделювання в розрахунковому комплексі SCAD Office: а - розрахунковий переріз; б - модель досліджуваних балок

Аналізу підлягали деформації вузла № 1061 (рис. 2а), що знаходиться на рівні робочої арматури в нормальному перерізі середньої третини розрахункового прольоту балок. Аналіз деформацій проводився до рівня навантаження 1 т, від дії однієї зосередженої сили, оскільки деформації на більш значному рівні навантажень показували абсолютно симетричний розвиток для всіх серій балок.

Деформації на рівні навантаження "0,00" виникають від власної ваги дослідних серій балок. На рис. 3, 4 і в табл. 2 наведені результати математичного моделювання деформацій.

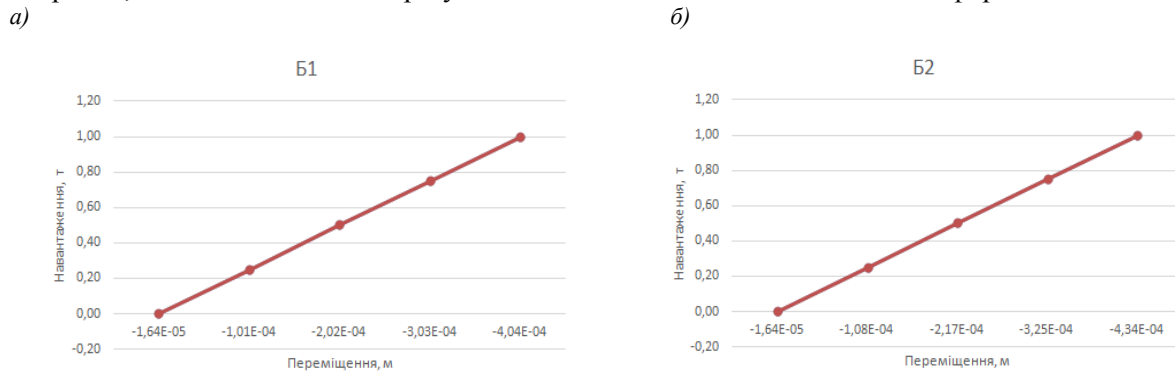


Рис. 3. Графіки "навантаження-переміщення" вузла № 1061: а - серія Б1 (контрольна); б - серія Б2

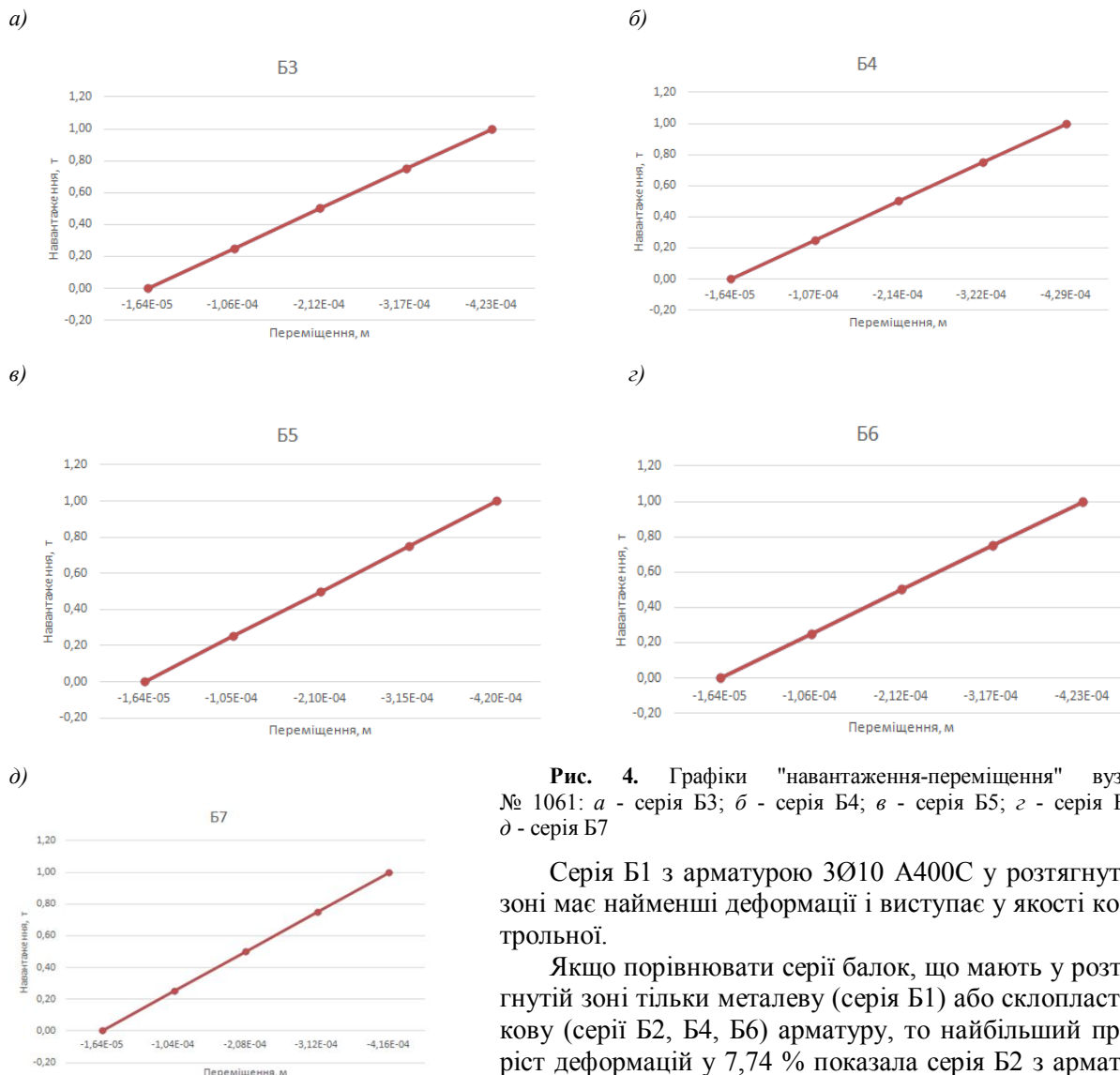


Рис. 4. Графіки "навантаження-переміщення" вузла № 1061: а - серія Б3; б - серія Б4; в - серія Б5; г - серія Б6; д - серія Б7

Серія Б1 з арматурою 3Ø10 А400С у розтягнутій зоні має найменші деформації і виступає у якості контрольної.

Якщо порівнювати серії балок, що мають у розтягнутій зоні тільки металеву (серія Б1) або склопластикову (серії Б2, Б4, Б6) арматуру, то найбільший приріст деформацій у 7,74 % показала серія Б2 з армату-

рою 3Ø10 АКС800 у розтягнутій зоні.

Підвищення площі розтягнутої склопластикової арматури, у порівнянні з серією Б2, на 23,43% (серія Б4 з арматурою 3Ø12 АКС800) призводить до зменшення деформацій прогинів до рівня 6,45%.

Підвищення площі розтягнутої склопластикової арматури, у порівнянні з серією Б2, на 77,83 % (серія Б6 з арматурою 3Ø14 АКС800) призводить до зменшення деформацій прогинів до рівня 4,90 %.

Серії Б3, Б5 і Б7 мають комбіноване (комполитно-металево) армування розтягнутої зони. В якості металевої використана арматура Ø10 А400С. Серія Б3, що має у розтягнутій зоні арматуру 2Ø10 АКС800 і Ø10 А400С, показала зниження деформацій прогинів до рівня 4,90 %. Серія Б5, що має у розтягнутій зоні арматуру 2Ø12 АКС800 і Ø10 А400С, показала зниження деформацій прогинів до рівня 4,13 %. Серія Б7, що має у розтягнутій зоні арматуру 2Ø14 АКС800 і Ø10 А400С, показала зниження деформацій прогинів до рівня 3,10 %.

Таблиця 2

Результати математичного моделювання

Серія балок	Деформації вузла № 1061, м	Деформації відносно серії Б1, %	Перевищення деформацій відносно серії Б1, %	Відсоток армування склопластикової/ металевої арматурою робочої зони, %	Площа робочої арматури, мм ²
Б1	0,0003876	100	0	-/100	235,5
Б2	0,0004176	107,74	+7,74	100/-	190,8
Б3	0,0004066	104,90	+4,90	61,8/38,2	205,7
Б4	0,0004126	106,45	+6,45	100/-	235,5
Б5	0,0004036	104,13	+4,13	66,6/33,3	235,5
Б6	0,0004066	104,90	+4,90	100/-	339,3
Б7	0,0003996	103,10	+3,10	74,2/25,8	304,7

Висновки та напрямок подальших досліджень. Під час використання в якості робочої композитної склопластикової арматури 3Ø10 АКС 800, аналогічного діаметра з металевою 3Ø10 А400С, відбувається збільшення деформацій прогинів на 7,74 %. Збільшення площі розтягнутої склопластикової арматури на 23,43 % призводить до зниження деформацій прогинів до рівня 6,45 %, тобто на 16,7 % менше у порівнянні з 3Ø10 АКС 800. При збільшенні площі розтягнутої склопластикової арматури на 77,83 %, відбувається зниження деформацій прогинів до рівня 4,90 %, тобто на 36,7 % менше у порівнянні з 3Ø10 АКС 800.

Зменшення площі робочої склопластикової арматури, за рахунок включення в розтягнуту зону металевого стержня Ø10 А400С, призводить до зменшення деформацій прогинів у порівнянні з балками, що мають суцільне композитне армуванням розтягнутої зони. Балки серії Б3, що мають у розтягнутій зоні арматуру 2Ø10 АКС800 і Ø10 А400С, показали зниження деформацій прогинів до рівня 4,90 %, тобто на 36,7 % менше ніж серія Б2 з робочою арматурою 3Ø10 АКС800.

Балки серії Б5, що мають у розтягнутій зоні арматуру 2Ø12 АКС800 і Ø10 А400С, показали зниження деформацій прогинів до рівня 4,13 %, тобто на 36 % менше ніж серія Б4 з робочою арматурою 3Ø12 АКС800.

Балки серії Б7, що мають у розтягнутій зоні арматуру 2Ø14 АКС800 і Ø10 А400С, показали зниження деформацій прогинів до рівня 3,10 %, тобто на 36,7 % менше ніж серія Б6 з робочою арматурою 3Ø14 АКС800.

Балки армовані у розтягнутій зоні склопластиковою і комбінованою арматурою показали деформації на 3,10-7,74 % більші ніж контрольна серія з металевим армуванням. Це пояснюється модулем пружності склопластикової арматури, який приблизно в чотири рази менший за аналогічний показник металевої арматури.

Розвиток подальших досліджень буде спрямовано на моделювання напружено-деформованого стану балок з урахуванням фізичної нелінійності матеріалів.

Проведення натурного експерименту і порівняння отриманих результатів з аналітичними даними, дозволить вдосконалити існуючу методику розрахунку будівельних конструкцій армованих композитною арматурою.

Список літератури

1. Попруга Д. В. Використання склопластикової композитної арматури в згинальних елементах виготовлених з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів / Д.В. Попруга, О.І. Валовой // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: КНУ, 2017. – Випуск 44. – С. 147-150.
2. Валовой О. І. Характеристики міцності та жорсткості балок армованих базальтовою арматурою / О.І. Валовой, О.Ю. Єрмоєнко, М.О. Валовой // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: КНУ, 2017. – Випуск 44. – С. 142-146.
3. Валовой О. І. Особливості використання композитної арматури в згинальних бетонних елементах / О.І. Валовой, Д.В. Попруга, К.В. Чорна // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. - Луцьк: ЛНТУ, 2017. - Випуск 8. - С. 58-64.
4. Клімов Ю. А. Експериментальні дослідження зчеплення композитної неметалевої арматури з бетоном / Ю. А. Клімов, О. С. Солдатченко, Д. О. Орішкін // Вісн. нац. ун-ту "Львів. політехніка". - 2010. - № 662. - С. 237-241.
5. Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу : ДСТУ-Н В.2.6-185:2012. - [Чинний від 2013-04-01]. - Київ: Мінрегіон України, 2012. - 28 с. - (Нац. стандарт України).
6. Коваль П. М. Перспективи використання базальтобетонних конструкцій в будівництві / П. М. Коваль, О.Я. Гримак // Наукові нотатки. – 2014. – Випуск 46. – С. 262-269. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2014_46_44.
7. ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001:2009 Арматура неметалева композитна базальтова періодичного профілю. Технічні умови.
8. ТУ У В.2.7-25.2-21191464-024:2011 Арматура композитна «Екібар» для армування конструкцій з бетону. Технічні умови.
9. Хишмах М. Прочность и деформативность изгибаемых элементов из тяжелого бетона, армированных стеклопластиковой и стальной арматурой / М. Хишмах, Д.Р. Маилян, П.П. Польской, А.М. Блягоз // Новые технологии. – Майкоп: МГТУ, 2012. – Випуск 4. - С.147-152.
10. Садин Эбраим Ягуб. Совместная работа бетона и стеклопластиковой арматуры с различными видами периодического профиля: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.23.01 “Строительные конструкции, здания и сооружения” / Садин Эбраим Ягуб. – Минск, 2017. – 28 с.
11. Селяев В. П. Расчёт композиционных слоистых конструкций по предельным состояниям второй группы / В. П. Селяев, В. И. Солomatov // Изд. вузов строительство и архитектура. - Новосибирск, 1981. - № 2. - С. 88-91.
12. Антипов А. С. Влияние полимерных покрытий на свойства железобетонных конструкций / А. С. Антипов // Труды МИИТа. - 1996. - вып. 219. - С. 35-46.
13. Ильин Д.А. Композитная арматура на основе стеклянных и углеродных волокон для бетонных конструкций: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Ильин Дмитрий Анатольевич. – М., 2017. – 141 с.
14. RILEM/CEB/FIP Recommendations RC 5: Bond test for reinforcing steel, 1. Beam Test, 1978.
15. EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures General rules and rules for building.

Рукопис подано до редакції 11.04.2018

УДК 624.137.5

О.Б. НАСТИЧ, канд. техн. наук, доц., І.В. ХОРУЖЕНКО, асистент
Криворізький національний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ПІДПІРНИХ СТІН З УРАХУВАННЯМ РОЗДІЛЕННЯ НА СКЛАДОВІ ЧАСТИНИ КОЕФІЦІЄНТІВ ЗАПАСУ МІЦНОСТІ

Мета. Метою даної роботи є узагальнення та уточнення основних методів проектування та розрахунку підпірних стін. Важливим у розрахунках є врахування коефіцієнтів запасу. Існуючі методи недостатньо висвітлені в сучасній навчально-технічній літературі та, як правило, не знаходять належного відображення в курсах лекцій з опору матеріалів та будівельної механіки, що читаються в технічних вузах. Дана стаття має на меті заповнити цю прогалину, що, в свою чергу, послужить раціональному конструюванню підпірних стін, що застосовуються при виявленні дефектів і пошкодженні будівель і споруд, причиною яких є нестабільність основи.

Методи дослідження. Існують основні принципи розрахунку підпірних стін. Виходячи з граничних станів повинні бути зроблені наступні розрахунки: на стійкість до перекидання; на стійкість до зсуву-ковзання; на міцність самої конструкції підпірної стіни; на міцність ґрунту основи; на деформацію ґрунту основи; на тріщиностійкість елементів конструкції.

Наукова новизна. Актуальність даної роботи пов'язана із розв'язанням поставленої задачі. В статті проаналізовано та досліджено публікації, де було застосовано нову методику перевірок стійкості підпірної стіни, яка враховує міцність і деформацію її основи і яка відповідає новому трактуванню коефіцієнта запасу.

Практична значимість. Найбільшу величину активного тиску ґрунту при наявності на горизонтальній поверхні засипки рівномірно розподіленого навантаження необхідно визначати при розташуванні цього навантаження в

межах всієї призми обрушення, якщо навантаження не має фіксованого положення. Перевірочний розрахунок підпірної стіни на стійкість за методикою єдиного коефіцієнту запасу зводиться до обчислення коефіцієнта запасу як відношення утримуючої сили T_y до зсувної T_c . Коефіцієнт запасу стійкості показує, у скільки разів має зрости тиск землі разом з тимчасовим навантаженням на ній, щоб стався зсув підпірної стіни.

Результати. Запропонована методика перевірок стійкості підпірної стіни враховує міцність і деформацію основи і відповідає новому трактуванню коефіцієнта запасу.

Ключові слова: підпірна стінка, коефіцієнт запасу міцності, граничний стан, стійкість

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-12-17

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Під час будівництва різного роду будівель на місцевості зі складним рельєфом (балки, яри тощо) часто виникає необхідність в підпірній споруді. Така укріплювальна конструкція несе в собі одну основну задачу - запобігання обвалу ґрунтових мас. В останні роки теорія тиску ґрунтів і теорія розрахунку підпірних стін отримали в Україні значного розвитку і уточнення в декількох напрямках. На зміну старій теорії тиску ґрунтів, що заснована на грубих допущеннях Кулона, з'явилася більш точна теорія В.В. Соколовського [1], яка в даний час вже досить розроблена і використовується в багатьох випадках практики. Встановлено межі практичної можливості застосування теорії Кулона; в тих же випадках, коли вона дає неприпустимі похибки (пологі стіни і нижні межі ламаних стін), внесені необхідні уточнення, які зближують результати цієї теорії з тими, які дає теорія В.В. Соколовського. Замість старої методики розрахунку підпірних стін за руйнівними навантаженнями по загальному коефіцієнту запасу вже не тільки застосовується, а й отримала офіційне затвердження в будівельних нормах проектування мостів, методика розрахункових граничних станів з розчленованими на складові частини коефіцієнтами запасу. Розроблено нову методику перевірок стійкості підпірної стіни, яка враховує міцність і деформацію її основи і яка відповідає новому трактуванню коефіцієнта запасу [2].

Аналіз досліджень і публікацій. Питаннями взаємодії підпірної стіни з ґрунтом засипки і основи з урахуванням коефіцієнтів запасу міцності присвячені роботи таких вчених як: М.І. Горбунов-Посадов, О.Я. Шехтер, Г.К. Клейн, Н.К. Снітко та ін. Дані автори займалися вирішенням завдань визначення значення бічного тиску ґрунту на стіни, розрахунком стійкості конструкцій, переміщення підпірних стін, а так само аналізом причин, що впливають на роботу підпірних стін. В цих та інших роботах, визначено особливості роботи і розрахунку стін на перекидання і зсув.

В Україні накопичено багатий досвід теоретичних досліджень в області зведення підпірних стін, розроблено безліч затверджених посібників і рекомендацій, що дозволяють швидко і грамотно вести їх проектування. Існує безліч питань, відповіді на які дозволять проектувати більш економічні, ефективні, естетично привабливіші стінки, однак, незадовільний стан вже зведених підпірних стін, як правило, не вина проектувальників. Дослідження показують, що, змінивши обрис задньої грані фундаментної плити, забезпечивши плиту вирізами або отворами, можна домогтися більшої її ефективності з точки зору залучення в роботу стінки навколишнього ґрунту. Розвиток досліджень в цій області дозволить реконструювати стінки з мінімальними витратами, а також скоротити витрати по реорганізації існуючої виробничої бази в зв'язку зі зростанням вимог (наприклад, вимогами до сейсмостійкості) [3]. Останнім часом ведуться дослідження в області конструювання тонких підпірних стін з використанням буро-ін'єкційних паль. Палі в конструкції стіни сприймають тільки поздовжні осьові сили і тому повинні бути розташовані з умови забезпечення їх центрального навантаження. Тонка підпірна стінка, розроблена кафедрою Теорії споруд Далекосхідного Державного технічного університету, складається зі збірної залізобетонної захисної частини і влаштованих в основі стінки буро - ін'єкційних паль. Міцність і стійкість стінки забезпечена за рахунок передачі зусиль на міцний ґрунт основи. Тонка підпірна стінка укiсного типу складається з монолітної плити огороження і похилій буро-ін'єкційної анкерної палі. Стійкість стану забезпечена защемленням опорної частини стінки і анкерної палі в міцні ґрунти.

Постановка завдання. Методи розрахунку та проектування підпірних стін з урахуванням розділення на складові частини коефіцієнтів запасу міцності недостатньо висвітлені в сучасній навчально-технічній літературі та, як правило, не знаходять належного відображення в курсах лекцій з опору матеріалів та будівельної механіки, що читаються в технічних вузах. Дана стаття

має на меті заповнити цю прогалину, що, в свою чергу, послужить раціональному конструюванню підпірних стін, що застосовуються при виявленні дефектів і пошкоджень будівель і споруд, причиною яких є нестабільність основи.

Викладення матеріалу та результати. Підпірні стіни зазвичай використовуються у складних інженерно-геологічних умовах, їх робота залежить від багатьох факторів. Особливо важливо є вивчення всіх факторів в їх взаємодії.

Для створення функціонуючої конструкції підпірної стіни необхідно виконати наступні розрахунки:

- розрахунок несучої здатності стіни на дію тиску ґрунту в горизонтальному напрямку;
- розрахунок згинального моменту стіни і міцність в місці з'єднання стіни з фундаментом на дію згинального моменту;
- розрахунок стіни на дію поперечної сили і міцність в місці з'єднання стіни з фундаментом на дію поперечної сили;
- розрахунок стіни на падіння і зсув від сили тиску ґрунту, що діє в горизонтальному напрямку;
- розрахунок перекидаючого моменту і підтримуючого в вертикальному положенні моменту на рівні підшви фундаменту;
- розрахунок горизонтальної сили і сили тертя викликаних тиском ґрунту на рівні підшви фундаменту;
- розрахунок міцності підшви фундаменту на згин від дії тиску ґрунту.

Підпірні стіни слід розраховувати за двома групами граничних станів [2]. Перша група (за несучою здатністю) передбачає виконання розрахунків:

- за стійкістю і положення стіни проти зсуву і міцності ґрунтової основи;
- за міцністю елементів конструкцій і вузлів з'єднань.

Друга група (за придатністю до експлуатації) передбачає перевірку:

- підстав, при яких допускаються деформації;
- елементів конструкцій, при яких допускаються величини розкриття тріщин.

Тиск ґрунту для кутових підпірних стін слід визначати, виходячи з умови утворення застінної клиноподібної симетричної (а для короткої задньої консолі - несиметричної) призми обрушення. Тиск ґрунту приймається діючим на похилу (розрахункову) площину, проведену під кутом E при $\delta = \varphi$.

Кут нахилу розрахункової площини до вертикалі E визначається з умови (1), але приймається не більше 45° .

$$\tan \varepsilon = (b-t) / h . \quad (1)$$

Найбільшу величину активного тиску ґрунту при наявності на горизонтальній поверхні засипки рівномірно розподіленого навантаження необхідно визначати при розташуванні цього навантаження в межах всієї призми обрушення, якщо навантаження не має фіксованого положення.

Розрахунок стійкості положення стіни проти зсуву необхідно проводити з умови

$$F_{sa} \leq \gamma_c \cdot F_{sr} / \gamma,$$

де F_{sa} - зсувна сила, вона дорівнює сумі проєкцій всіх зсувних сил на горизонтальну площину; F_{sz} - утримуюча сила, вона дорівнює сумі проєкцій всіх утримуючих сил на горизонтальну площину; γ_c - коефіцієнт умов роботи ґрунту основи: для пісків, крім пилюватих - 1; для пилюватих пісків, а також пилювато-глинистих ґрунтів в стабілізованому стані - 0,9; для пилювато-глинистих ґрунтів в нестабілізованому стані - 0,85; для скельних, неветрених - 1; γ_n - коефіцієнт надійності за призначенням споруди - 1,2; 1,15 і 1,1.

Зсувну силу F_{sa} будемо визначати за формулою

$$F_{sa} = F_{sa,f} + F_{sa,q},$$

де $F_{sa,f}$ - зсувна сила від власної ваги ґрунту, $F_{sa,q}$ - зсувна сила від навантаження, розташованого на поверхні

$$F_{sa,f} = P_f h / 2; F_{sa,q} = P_q \cdot y_b.$$

Утримуюча сила F_{sr} для неслизької основи визначається за формулою

$$F_{sr} \leq F_v \cdot \tan(\varphi_1 - \beta) + b c_1 + E_2,$$

де F_v - сума проєкцій всіх сил на вертикальну площину:

для масивних підпірних стін

$$F_v = F_{sa} \cdot \tan(\varepsilon + \delta) + \sigma_{ct} + \gamma_1 \cdot \tan \beta \cdot b^2 / 2;$$

для кутових підпірних стін (при $E \leq \theta$)

$$F_v = F_{sa} \cdot \tan(\varepsilon + \varphi_1) + \gamma' \cdot \gamma_s \left[h \cdot \frac{(b-t)}{2} + t \cdot d \right] + \gamma_1 \cdot \tan \beta \cdot b^2 / 2,$$

де γ - коефіцієнт надійності за навантаженням, який дорівнює 1,2; E_2 - пасивний опір ґрунту.

Розрахунок стійкості підпірних стін проти зсуву повинен здійснюватися за формулою (1) для трьох значень кута β ($\beta = 0, \beta = \varphi_1 / 2, \beta = \varphi_1$). При похилій підшві стіни крім вказаних значень кута, слід проводити розрахунок проти зсуву також для від'ємних значень кута β .

При зсуві по підшві ($\beta = 0$) слід враховувати такі обмеження

$$C_1 \leq 5 \text{ МПа}, \varphi_1 \leq 30^\circ, \gamma_r = 1.$$

Для скельної основи утримуюча сила визначається за формулою

$$F_{sr} = F_v \cdot f + E_2,$$

де f - коефіцієнт тертя підшви по скельному ґрунту, він приймається за результатами безпосередніх випробувань, але не більше 0,65.

Перевірочний розрахунок підпірної стіни на стійкість за методикою єдиного коефіцієнту запасу зводиться до обчислення коефіцієнта запасу як відношення утримуючої сили T_y до зсувної T_c .

$$k_c = T_y / T_c.$$

До утримуючих сил відносяться сила тертя, викликана дією власної ваги підпірної стіни, а до зсувних - сила тиску ґрунту, зменшена силою тертя, пов'язаної з цим тиском. Це призводить до такої формули

$$k_c = \frac{f \cdot G}{Q_x - f \cdot Q_z},$$

де G - рівнодіюча сил відповідної ваги стіни; Q_x, Q_z - горизонтальна і вертикальна складова повного тиску ґрунту на підпірну стіну; f - коефіцієнт тертя матеріалу підпірної стіни на ґрунт основи.

Якщо для кожної ділянки по висоті стіни сили G, Q_x, Q_z визначені окремо, то потрібно підсумувати ці сили і тоді отримаємо

$$k_c = \frac{f \cdot \sum G_i}{\sum Q_{xi} - f \cdot \sum Q_{zi}}.$$

Отже, коефіцієнт запасу стійкості за цією методикою показує, у скільки разів має зрости тиск землі разом з тимчасовим навантаженням на ній, щоб стався зсув підпірної стіни. При цьому сила тертя, викликана вертикальною складовою тиску ґрунту, відноситься до зсувних сил, але береться зі знаком мінус. До зсувних сил відноситься також тиск води на задню і на передню грані стіни, причому тиск на передню грань береться зі знаком мінус.

Протитиск води, тобто тиск води, «підвішує» підпірну стіну і як би зменшує її власну вагу, відноситься до утримуючих сил, але береться зі знаком мінус. До позитивних утримуючих сил відноситься реакція ґрунту, діюча на передню грань фундаменту, а також сила зчеплення по підшві фундаменту підпірної стіни. Власна вага підпірної стіни на одиниці її довжини може бути виражена через безрозмірний параметр, що залежить від форми профілю підпірної стіни, тобто

$$G = \gamma_c \cdot \omega \cdot h^2.$$

При трикутній опорі тиску ґрунту

$$Q_x = 0,5 \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot \lambda \cdot \varphi; \quad Q_z = 0,5 \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot \lambda_z.$$

Застосування коефіцієнтів дозволяє замінити обернений (перевірочний) метод розрахунку прямим, тобто безпосереднім знаходженням необхідної ширини підшви фундаменту по заданих навантаженнях.

За методикою граничних станів умова стійкості підпірної стіни підшвов зсуву по основі виражається наступною нерівністю

$$T \leq m_c \cdot T_{np} \text{ або } T / T_{np} \leq m_c,$$

де T - розрахункова зсувна сила, рівна алгебраїчній сумі проєкцій всіх розрахункових сил на площину ковзання; T_{np} - гранична зсувна сила; m_c - коефіцієнт умовної роботи.

Першу нерівність можна представити в розгорнутому вигляді

$$\frac{n \cdot Q \cdot Q_x^n}{f \cdot (n_G \cdot G_n + n \cdot Q \cdot Q_z^n)} \leq m_c \quad (2)$$

При розрахунку за методом граничних станів замість нерівності (2) слід користуватися нерівністю

$$\frac{n \cdot Q \cdot Q_x^n \cdot (\cos \delta - f \cdot \sin \delta)}{(n_G \cdot G_n + n \cdot Q \cdot Q_z^n) \cdot (f \cdot \cos \delta + \sin \delta)} \leq m_c \cdot$$

Якщо основу підпірної стіни вважати абсолютно жорсткою, то поворот профілю стіни при її перекиданні повинен відбутися навколо нижнього переднього ребра фундаменту. Розрахунок за методикою «коефіцієнтів стійкості» зводиться до обчислення коефіцієнта запасу стійкості проти перекидання як відношення моменту затримуючих сил ($M_{стр}$) до моменту перекидаючих сил ($M_{пер}$)

$$k_o = \frac{M_{cmp}}{M_{пер}} \quad (3)$$

До утримуючих сил належить власна вага стіни, а до перекидаючих - тиск ґрунту з урахуванням ґрунтової води та навантаження, що знаходиться на поверхні засипки. Коефіцієнт запасу стійкості показує, у скільки разів має зрости тиск землі разом з тимчасовим навантаженням на ній для того, щоб сталося перекидання підпірної стіни.

Моменти вертикальних складових тиску ґрунту на задню грань стіни відносяться до перекидаючих моментів, але беруться зі знаком мінус. Тоді формула (3) приймає розгорнутий вигляд

$$k_o = \frac{G \cdot a}{Q_x \cdot z - Q_z \cdot x},$$

де G - рівнодіюча сил власної ваги підпірної стіни; Q_x , Q_z - горизонтальна і вертикальна складова повного тиску ґрунту на підпірну стіну; a , z , x - плечі цих сил щодо точки O .

При розрахунку підпірної стіни на перекидання слід також враховувати коефіцієнт запасу стійкості на перекидання. Перекидаючий момент на рівні підшви фундаменту, викликаний силою горизонтального тиску ґрунту $M_{над}$, прагне перекинути конструкцію стіни щодо точки впливу результуючої тиску ґрунту A . Момент $M_{верт}$ від дії власної ваги стіни, фундаменту і тиску ґрунту на підшви фундаменту чинить опір моменту $M_{над}$.

Загальний запас стійкості проти падіння повинен бути $\gamma_{пад} \geq 1,5$ тобто

$$M_{верт} \geq 1,5 M_{над}$$

Перекидаючий момент щодо точки A визначається так

$$M_{над} = p_{1k} \cdot \frac{(H_{нас} + H_{фунд})^2}{2} + p_{2k} \cdot \frac{(H_{нас} + H_{фунд})^2}{6}$$

Момент відносно точки A , завдяки якому конструкція знаходиться у вертикальному положенні, визначається

$$M_{верт} = G_s \cdot e_s + G_{фунд} \cdot e_{фунд} + G_{гр} \cdot e_{гр}$$

де G_s - власна вага стіни, kH / m^2

$$G_s = h_s \cdot H_{ст} \cdot 25,$$

де $H_{ст}$ - висота стіни; $G_{фунд}$ - власна вага ґрунту; $G_{гр}$ - вага ґрунту на підшві фундаменту; e_s - відстань від точки A до лінії дії навантаження від власної ваги стіни; $e_{фунд}$ - відстань від точки A до лінії дії навантаження від власної ваги фундаменту; $e_{гр}$ - відстань від точки A до лінії дії навантаження від власної ваги ґрунту.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Запропонована методика перевірок стійкості підпірної стіни враховує міцність і деформацію основи і відповідає новому трактуванню коефіцієнта запасу. Натомість застосовуваних в даний час теорій пружних тіл для визначення напружень в матеріалі підпірної стіни набули широкого поширення і офіційно затверджені формули, що враховують пластичність таких матеріалів, як бетон, залізобетон і цегляна кладка. Розроблено техніку підбору ширини профілю підпірної стіни, виходячи з існуючих вимог, і виявлений математичний зв'язок між результатами, що впливають з різних вимог. Масивні підпірні стіни, розрахунок яких до сих пір тільки і розглядався в курсі будівельної механіки, при застосуванні нових підходів до розрахунку пропонованих в цій роботі, можуть бути замінені економічними тонко елементними збірними конструкціями.

Список літератури

1. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды / В.В. Соколовский. - Москва, 3 изд., 1960.
2. Клейн Г.К. Расчет подпорных стен / Г.К. Клейн. - Москва: Высшая школа, 1964. - 196 с.
3. http://www.zimbelmann.ru/lectures/lecture_38.html
4. Тімченко Р.О. Напружено-деформований стан підпірних стінок спеціального типу при складних деформаціях / Р. О. Тімченко, О. Б. Настич, Д. А. Крішко, В. О. Савенко // Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Сер. : Галузеве машинобудування, будівництво. - 2014. - Вип. 3(2). - С. 150-156.
5. Тімченко Р.О. Проектування і розрахунок підпірних стін: навчальний посібник для вищих навчальних закладів. - Кривий Ріг: Мінерал, 2005. - 136 с.
6. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б.И. Далматов. - Л.: Стройиздат, 1988.
7. Механика грунтов, основания и фундаменты. Под ред. академика РИА, д.т.н. профессора С.Б.Ухова, - Москва: Высшая школа, 2004.
8. Цимбельман Н.Я. Разрушения подпорных стен. // Труды ДВГТУ; вып.130. - Владивосток: ДВГТУ, 2001.
9. Тетигор А.Н. Облегченные подпорные стены в транспортном строительстве / А.Н. Тетигор. - Москва: Транспорт, 1987.
10. Емельянов Л.М. Расчет подпорных сооружений. Справочное пособие / Л.М. Емельянов. - Москва: Стройиздат, 1987.

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

УДК 004.925:622.27

М. В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц., М. П. СЕРГЕСЬВА, ст. викладач,
Криворізький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄМНО-ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ПОТОКІВ ЗАЛІЗОРУДНОЇ МАСИ КАР'ЄРІВ І ШАХТ

Мета. Метою даної роботи є розробка методу моделювання відосблених і взаємозалежних динамічних рядів об'ємно-якісних характеристик корисних копалин для прогнозування вмісту якісних показників залізистих кварцитів на дільницях родовища. Побудову моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічних рядів і використання базуємо на методах аналізу тимчасових рядів.

Методи дослідження. Моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин пов'язане з узагальненням методу для ізольованих рядів вмісту якісних показників корисних копалин. Один з них пов'язаний з побудовою адаптивних моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічного ряду вмісту якісних показників корисних копалин множинної регресії, інший – з побудовою дискретних лінійних моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак передаточних функцій та критерію стійкості, які основані на використанні ідеї методу Бокса-Дженкінса. Для моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин третього і більш високого порядку, використано алгоритм Марквардта, а для нелінійного методу – метод найменших квадратів.

Наукова новизна. Розглянуто приклади, для ілюстрації методики послідовних операцій ідентифікації моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак відосблених рядів вмісту якісних показників залізорудної маси для дільниць родовищ Кривбасу, визначення центрованої постійної моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак і розрахунку прогнозних оцінок вмісту якісних показників корисних копалин. Запроєктовано рекомендації стосовно технології прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак окремих рівнів залізорудних потоків з невеликими інтервалами дискретності.

Практична значимість. Рекомендовано методику моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин та методику побудови моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин, обмежуючись двома взаємозалежними рядами вмісту якісних показників корисних копалин.

Результати. Розглянуті моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак мають високі адаптивні властивості, високу точність прогнозування і можливість моделювання нестационарних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин, що досягнуто за рахунок ефективного статистичного аналізу інформації прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак окремих рівнів потоків залізорудної маси, які пов'язанні технологічними процесами з узагальненням методів прогнозування ізольованих рядів на взаємозалежні.

Ключові слова: родовище, залізисті кварцити, об'ємно-якісні показники, прогнозування, моделювання.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-17-22

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Побудова моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічних рядів вмісту якісних показни-

ків корисних копалин і використання для прогнозування базується на методах аналізу тимчасових рядів вмісту якісних показників корисних копалин [1–3]. Найбільш завершений і досконалий – метод Бокса-Дженкінса [2]. Основними перевагами моделей прогнозування характеристик об’ємно-якісних ознак є високі адаптивні властивості, висока точність прогнозування і можливість моделювання нестационарних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин. Досягаємо це за рахунок ефективного статистичного аналізу інформації характеристик об’ємно-якісних ознак окремих рівнів залізородних потоків, які пов’язанні технологічними процесами з узагальненням методів прогнозування ізольованих рядів вмісту якісних показників корисних копалин на взаємозалежні.

Аналіз досліджень і публікацій. У методі [4] модель прогнозування характеристик об’ємно-якісних ознак будують або за вихідними даними C_1, C_2, \dots, C_n , або за перевернутими (якщо ряд вмісту якісних показників корисних копалин не є стаціонарним). У загальному випадку рівняння моделі прогнозування характеристик об’ємно-якісних показників буде

$$X_t = \varphi_1 X_{t-1} + \varphi_2 X_{t-2} + \dots + \varphi_p X_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}, \quad (1)$$

де $X_t = C_t - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$; φ_i – параметри авторегресії; θ_i – параметри ковзного середнього; ε_t – «білий шум» з постійною дисперсією.

Процес обчислення моделювання динамічного ряду вмісту якісних показників корисних копалин пов’язаний з визначеннями величин p і q (ідентифікація моделі прогнозування характеристик об’ємно-якісних ознак), оцінкою параметрів моделі φ_i в θ_i і діагностичної перевірки моделі прогнозування характеристик об’ємно-якісних ознак на адекватність. Основним інструментом для ідентифікації моделі прогнозування характеристик об’ємно-якісних показників служать автокореляційна і частинна автокореляційна функції. Теоретичні властивості автокореляційної функції процесу конкретного виду дозволяють ідентифікувати порядок ковзного середнього q . Аналогічним чином ідентифікуємо порядок авторегресії p виходячи з властивостей частинної автокореляційної функції [1–3].

Постановка завдання. Оцінку моделі прогнозування характеристик об’ємно-якісних ознак динамічного ряду вмісту якісних показників корисних копалин здійснюємо у два етапи. Спочатку знаходимо початкові оцінки параметрів авторегресії і ковзний середнього незалежно один від одного. При цьому початкові оцінки параметрів Φ_i визначаємо з рівнянь Юла-Уоркера [2]. Параметри ковзного середнього $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ знаходимо за допомогою простої ітеративної процедури. Для моделей прогнозування характеристик об’ємно-якісних ознак динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин більш високого порядку скористаємося алгоритмом Марквардта для нелінійного методу – метод найменших квадратів або однією з його модифікацій [1–3]. Після того як знайдені оцінки параметрів моделі прогнозування характеристик об’ємно-якісних ознак, які забезпечують мінімальні похибки прогнозування (у середньому), рівняння моделі прогнозування характеристик об’ємно-якісних ознак використаємо для прогнозування вмісту якісних показників корисних копалин.

Викладення матеріалу та результати. Початкові оцінки параметрів моделі прогнозування характеристик об’ємно-якісних ознак вмісту якісних показників корисних копалин є досить наближеними. Остаточну оцінку моделі прогнозування характеристик об’ємно-якісних ознак, що приводить до більш точного прогнозування, здійснюємо за допомогою мінімізації суми квадратів розбіжностей між реальними членами динамічного ряду і прогнозів, які зроблені на попередньому кроці. Мінімум цієї суми визначає «справжні» значення параметрів змішаної моделі прогнозування характеристик об’ємно-якісних ознак авторегресії ковзного середнього позначаємо АРКС (p, q) і маємо

$$S(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_p, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q) = \sum_{t=M}^n \tilde{\varepsilon}_t^2 = \min, \quad (2)$$

де $\tilde{\varepsilon}_t = X_t - \sum_{i=1}^p \Phi_i X_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j}$.

Для знаходження мінімуму функції S моделі прогнозування характеристик об’ємно-якісних показників авторегресії ковзного середнього розроблені різні методи. У найпростішому випадку ($p=0; 1$ і $q=0; 1$) мінімум найпростіше знайти графічно. Для моделей третього і більш

високого порядку використаємо алгоритм Марквардта, а для нелінійного – метод найменших квадратів або одну з його модифікацій [4–7]. Після того як знайдені оцінки параметрів моделі прогнозування характеристик об’ємно-якісних показників, які забезпечують у середньому мінімальні похибки прогнозу, рівняння моделі прогнозування характеристик об’ємно-якісних ознак буде використане для прогнозування вмісту якісних показників корисних копалин. Маючи на увазі, що підібрана модель прогнозування характеристик об’ємно-якісних ознак є неадекватною реального динамічного ряду вмісту якісних показників корисних копалин. Це обумовлено неправильною ідентифікацією порядків моделі p і q або не стаціонарністю вихідних даних. Стаціонарність вихідних даних знаходимо по поводженню автокореляцій. Якщо автокореляції мають тенденцію зберігати постійні значення, то ряд вмісту якісних показників корисних копалин, який досліджуємо не є стаціонарним [8–10]. У цьому випадку ряд вмісту якісних показників корисних копалин необхідно перевернути, взявши перші різниці, а при необхідності і різниці більш високого порядку, перейшовши до нового ряду

$$W_t = C_t - C_{t-1}, t = 2, 3, \dots, n. \quad (3)$$

Модель прогнозування характеристик об’ємно-якісних показників різницевого ряду корисних копалин є змішаною моделлю прогнозування характеристик об’ємно-якісних ознак авторегресії проінтегрованого ковзного середнього позначаємо АРПКС (p, d, q) , де d – порядок взяття різниць. Як показують чисельні розрахунки по сотнях динамічних рядів вмісту якісних показників залізородної маси для дільниць родовищ Кривбасу, порядки моделей прогнозування характеристик об’ємно-якісних показників p і q часто не перевищують 2, а порядок взяття різниць d дорівнює 0 або 1. Перевірку адекватності знайденої моделі прогнозування характеристик об’ємно-якісних показників здійснюємо за допомогою діагностичних перевірок, використовуючи статистику X^2 . Якщо діагностична перевірка приводить до неадекватності моделі прогнозування характеристик об’ємно-якісних показників, процес оцінки повторюємо, змінивши порядок моделі. При використанні комп’ютерних технологій для знаходження параметрів моделі прогнозування характеристик об’ємно-якісних показників процедура оцінки спрощена. Враховуючи, що $p \leq 2$ і $q \leq 2$, послідовно оцінюємо параметри конкуруючих моделей прогнозування характеристик об’ємно-якісних показників з різними p і q і вибираємо ту з них, для якої S мінімальна [8–10]. Потім здійснюємо діагностичну перевірку тільки для цієї моделі прогнозування характеристик об’ємно-якісних показників.

Незважаючи на успішне вирішення теоретичних питань [1,2,8–10] у цій області, залишаються ще труднощі практичної реалізації методу, які обумовлені складністю оцінки параметрів таких багатовимірних моделей прогнозування характеристик об’ємно-якісних ознак і інтерпретації результатів моделювання вмісту якісних показників корисних копалин. Однак аналіз використання багатомірних моделей прогнозування характеристик об’ємно-якісних показників на великому фактичному матеріалі дає обнадійливі результати. Для моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин використані два підходи. Перший з них пов’язаний з побудовою адаптивних моделей прогнозування характеристик об’ємно-якісних ознак множинної регресії, другий – з побудовою дискретних лінійних моделей прогнозування характеристик об’ємно-якісних показників передаточних функцій та критерію стійкості [2,11,12]. Побудову адаптивних моделей прогнозування характеристик об’ємно-якісних ознак множинної регресії виконуємо на припущенні про лінійну залежність ряду вмісту якісних показників корисних копалин Y_t , який досліджуємо з рядами $X_{1,t}, X_{2,t}, \dots, X_{M,t}$, причому коефіцієнти зв’язку не є постійними. Допустивши, що прогнозування на момент часу $t+\tau$ здійснюємо за допомогою рівняння множинної регресії

$$\tilde{Y}_{t+\tau} = \lambda_{1,t} X_{1,t} + \lambda_{2,t} X_{2,t} + \dots + \lambda_{M,t} X_{M,t}. \quad (4)$$

Коректування вагових коефіцієнтів $\lambda_{i,t}$ здійснимо по правилу, що використали в методі адаптивної авторегресії [4,14]

$$\lambda_{i,t} = \lambda'_{i,t} + 2k\varepsilon_{t+\tau} X_{i,t}; (i=1,2,\dots, M),$$

де $\varepsilon_{t+\tau} = Y_{t+\tau} - \tilde{Y}_{t+\tau}$ – похибки прогнозування вмісту якісних показників корисних копалин; $\lambda'_{i,t}$ – старе значення $\lambda_{i,t}$, яке отримали на попередньому кроці; $k = \alpha / 2 \sum_{i=1}^M X_{i,t}^2$ коефіцієнт адаптації; α – параметр адаптації, причому $0 < \alpha < 2$.

Оптимальне значення α знаходимо, як і у методі адаптивної авторегресії в процесі «навчання» моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних показників. На початковому етапі будуємо звичайну модель прогнозування характеристик об'ємно-якісних показників множинної регресії методом найменших квадратів.

Другий підхід до моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин пов'язаний з узагальненням методу Бокса-Дженкінса для ізольованих рядів вмісту якісних показників корисних копалин. Розглянемо методику побудови моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак, обмежуючись для простоти двома взаємозалежними рядами вмісту якісних показників корисних копалин X_t і Y_t [15,16]. Якщо Y_t і X_t – відхилення членів динамічних рядів від деякого рівноважного рівня відповідно на виході і вході динамічної системи. Рівняння моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак показників авторегресії ковзного середнього буде мати вигляд

$$Y_t - \delta_1 Y_{t-1} - \dots - \delta_r Y_{t-r} = \omega_0 X_{t-b} - \omega_1 X_{t-b-1} - \dots - \omega_s X_{t-b-s}, \quad (5)$$

де δ_i і ω_j – «лівобічні» та «правобічні» параметри моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних показників; b – «параметр затримки».

Використавши зрушення «назад» $BY_t = Y_{t-1}$; $B^2 Y_t = Y_{t-2}$ рівняння (5) запишемо у вигляді

$$(1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2 - \dots - \delta_r B^r) Y_t = (\omega_0 - \omega_1 B - \dots - \omega_s B^s) X_{t-b}, \quad (6)$$

або в більш компактному виді

$$Y_t = \frac{\omega(B)}{\delta(B)} X_{t-b}, \quad (7)$$

де введені позначення $\delta(B) = 1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2 - \dots - \delta_r B^r$; $\omega(B) = \omega_0 - \omega_1 B - \dots - \omega_s B^s$.

$$\text{Функція} \quad \nu(B) = \frac{\omega(B)}{\delta(B)}, \quad (8)$$

є передаточною функцією моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних показників авторегресії ковзного середнього [15,16]. Враховуючи, що будь-яка динамічна система піддається збурюванню N_t , рівняння моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних показників (7) запишемо у вигляді

$$Y_t = \nu(B) X_{t-b} + N_t. \quad (9)$$

Процедура ідентифікації моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак містить у собі моделювання ряду вмісту якісних показників корисних копалин X_t , зрівнювання спектрів обох рядів, оцінку автокореляцій зрівняного виходу і взаємних кореляцій зрівняних входу і виходу, оцінку функції відгуку на одиничний імпульс і виділення випадкового компонента N_t [15,16]. Зрівнювання спектрів рядів вмісту якісних показників корисних копалин X_t і Y_t здійснюємо за формулами

$$a_t = X_t - \sum_{i=1}^p \Phi_i X_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j a_{t-j}; \quad \beta_t = Y_t - \sum_{i=1}^p \Phi_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \beta_{t-j}, \quad (10)$$

де Φ_i , і θ_i , – параметри моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак авторегресії ковзного середнього, що отримані в результаті моделювання ряду вмісту якісних показників корисних копалин X_t .

Для перевернутих рядів вмісту якісних показників корисних копалин a_t і β_t по стандартним формулам знаходимо оцінки автокореляцій $r_{\beta\beta}(k)$ і взаємних кореляцій $r_{a\beta}(k)$, а також оцінки функції відгуку на одиничний імпульс

$$\tilde{\nu}_k = \frac{\tilde{\sigma}_\beta}{\tilde{\sigma}_\alpha} \tilde{r}_{a\beta}(k), \quad (11)$$

де $\tilde{\sigma}_\beta^2$ і $\tilde{\sigma}_\alpha^2$ – оцінки дисперсій відповідно β_t і a_t .

Отриманні на цьому етапі оцінки $\tilde{\nu}_k$ статистично неефективні, але дозволяють ідентифікувати порядок операторів $\delta(B)$ і $\omega(B)$, а також величину затримки B [15,16]. Ідентифікацію параметрів r , s і b ґрунтуємо на теоретичних властивостях функції відгуку $\tilde{\nu}_k$ в рівнянні (11) моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних показників. Після того як ідентифіковано

порядок моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак відновлюємо випадковою складовою моделі N_t за допомогою рівняння

$$N_t = Y_t - \tilde{\nu}_0 X_t - \tilde{\nu}_1 X_{t-1} - \dots - \tilde{\nu}_g X_{t-g}, \quad (12)$$

і за стандартною методикою будуємо модель прогнозування характеристик об'ємно-якісних показників ряду N_t . Якщо при цьому отримана модель прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак авторегресії ковзного середнього має вигляд АРКС (p, q) , то модель взаємозалежних рядів вмісту якісних показників корисних копалин запишемо за формулою

$$Y_t = \frac{\omega(B)}{\delta(B)} X_{t-b} + \frac{\theta(B)}{\Phi(B)} \varepsilon_t, \quad (13)$$

де $\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$; $\Phi(B) = 1 - \Phi_1 B - \Phi_2 B^2 - \dots - \Phi_p B^p$.

Початкові оцінки «лівобічних» параметрів моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних показників передаточної функції δ_i моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних показників авторегресії ковзного середнього знаходимо з вирішення системи лінійних рівнянь

$$\sum_{i=1}^r A_{ij} \tilde{\delta}_i = h_j; \quad j = 1, 2, \dots, r, \quad (14)$$

де $h_j = \tilde{\nu}_{b+s+j}$; $A_{ij} = \begin{cases} \tilde{\nu}_{b+s+i-j} & s+i \geq j \\ 0 & s+i < j \end{cases}$.

Початкові оцінки «правобічних» параметрів моделі за формулами

$$\tilde{\omega}_0 = \tilde{\nu}_b; \quad D_{ij} = \tilde{\delta}_i \tilde{\nu}_{b+j-i} - \tilde{\nu}_{b+j}; \quad \tilde{\omega}_j = \sum_{i=1}^j D_{ij}; \quad \text{при } r \geq s; \quad \tilde{\omega}_j = \begin{cases} \sum_{i=1}^j D_{ij}, & j \leq r; \\ \sum_{i=1}^r D_{ij}, & j > r; \end{cases} \quad \text{при } r < s. \quad (15)$$

Попередні оцінки параметрів δ_i , ω_i , Φ_k і θ_i надалі використаємо для одержання прогнозів і порівняння з фактичними даними. Остаточну оцінку моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак і її діагностичну перевірку на адекватність здійснюємо як і для ізольованих рядів вмісту якісних показників корисних копалин. При використанні комп'ютерних технологій розрахунки здійснюємо за стандартними програмами.

Розглянемо питання про побудову і використаємо для прогнозування агрегованих рядів вмісту якісних показників корисних копалин на підставі динамічних рядів з невеликими інтервалами дискретності. Такий підхід правомірний, якщо число членів динамічного ряду вмісту якісних показників корисних копалин досить велике, щоб одержати надійні статистичні оцінки параметрів мінливості. Вирішення питання знайдемо, якщо такі ряди розглядати як агреговані, що утворенні даними рядів вмісту якісних показників корисних копалин меншої дискретності. Припустивши, що для динамічного ряду вмісту якісних показників корисних копалин C'_i з деяким мінімальним інтервалом дискретності t_0 (зміна, доба) число даних досить велике. Розглянемо завдання визначення статистичних характеристик агрегованих рядів C_n , які отримані з основного ряду C'_i за допомогою перекручення

$$C_k = (C'_{k(m-1)+1} + C'_{k(m-1)+2} + \dots + C'_{km}) / m \quad \text{або} \quad C_k = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m C'_{k(m-1)+j}. \quad (16)$$

Якщо t_0 дорівнює одній добі, то при $m=1$ одержуємо ряд вмісту якісних показників корисних копалин C_n середньо тижневих значень показника C . У найпростішому випадку взаємозалежних C'_i всі характеристики ряду вмісту якісних показників корисних копалин C_n знаходимо за допомогою формул класичної математичної статистики

$$M(C) = M(C') = \bar{C}; \quad D(C) = \frac{D(C')}{m}.$$

У випадку, коли динамічний ряд вмісту якісних показників корисних копалин C'_i є стаціонарним, знаходимо зв'язок між характеристиками рядів C'_i і C_k . Для математичного очікування маємо $M(C) = M(C')$. Для визначення дисперсії $D(C)$ і автокореляційної функції $K_c(l)$ скористас-

мося властивостями підставляючи (16) у відповідні вирази для дисперсії і автокореляційної функції і після перетворень отримаємо

$$D(C) = \frac{2}{m} + D(C') + \frac{2}{m} \sum_{r=1}^{m-1} (m-r) K_{C'}(r); \quad (17)$$

$$K_C(l) = \frac{1}{m} \sum_{r=-(m-1)}^{m-1} \left(1 - \frac{|r|}{m}\right) K_{C'}(lm-r). \quad (18)$$

Висновки та напрямок подальших досліджень. Отримані теоретичні залежності рекомендовано для побудови агрегованих рядів, якщо відомі характеристики вихідного основного ряду об'ємно-якісних ознак вмісту якісних показників корисних копалин. Викладений підхід розширює можливості методу прогнозування вмісту якісних показників корисних копалин у потоці залізородної маси, що дозволяє вірогідно оцінити контрольовані характеристики на періодах управління перевищуючи оперативні, підвищуючи при цьому точність прогнозування. Основними перевагами моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак є її високі адаптивні властивості, висока точність прогнозування, а також можливість моделювання нестационарних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин. Досягається це за рахунок ефективного статистичного аналізу інформації.

Список літератури

1. Аврамов В. Е., Азбель Е. И., Ефремова Н. И. Планирование эксперимента и прогнозирование качества сырья на горных предприятиях. Новосибирск, Наука, 1979.
2. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1. М., Мир, 1974.
3. Гудков В. М., Васильев В. М., Николаев К. П. Прогноз и планирование качества полезного ископаемого. М., Недра, 1976.
4. Новые направления в маркшейдерии. Монография / В. Д. Сидоренко, П. И. Федоренко, Н. В. Шолох, А. В. Переметчик. – Кривой Рог : Издательский центр КТУ, 2010. – 265 с.
5. Шолох Н. В. Горно-геометрический мониторинг прогнозирования качественных показателей железорудных месторождений / Н. В. Шолох // Сб. научных трудов второго международного симпозиума 12–17 июля 1999 года «Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке». – Ялта, 1999. – С. 218–220.
6. Шолох Н. В. Прогнозирование показателей геохимического поля месторождений железистых роговиков Кривбасса / Н. В. Шолох // Научно – техн. сборник «Разраб. рудн. месторождений». – Кривой Рог, 2005. – Вып. 89. – С. 144–147.
7. Шолох Н. В. Выбор оптимальной методики оценки исходных геологических данных при прогнозировании качественных показателей железорудных месторождений / П. И. Федоренко, Н. В. Шолох, А. В. Переметчик // Научно – техн. сборник «Разраб. рудн. месторождений». – Кривой Рог, 2007. – Вып. 91. – С. 102–106.
8. Шолох М. В. Прогнозування якісних показників руд та порівняння їх ефективності / М. В. Шолох, О. Л. Топчій // Науково – техн. збірник «Гірничий вісник». – Кривий Ріг, 2012. – Вип. 95(1). – С. 78–82.
9. Шолох М. В. Прогнозування якісних показників корисних копалин при комплексному освоєнні родовища / М. В. Шолох, О. Л. Топчій // Зб. наукових праць «Вісник КНУ». – Кривий Ріг, 2012. – Вип. 32. – С. 241–245.
10. Шолох М. В. Моделювання відосблених і взаємозалежних динамічних рядів для прогнозування якісних показників корисної копалини / М. В. Шолох, О. Л. Топчій, М. П. Сергєєва // Зб. наукових праць «Вісник КНУ». – Кривий Ріг, 2013. – Вип. 35. – С. 55–60.
11. Шолох М. В. Моніторинг прогнозування показників корисної копалини родовища на основі стохастичного моделювання відосблених і взаємозалежних динамічних рядів / М. В. Шолох, М. П. Сергєєва // Сб. матеріалів міжнародної науково – техн. конференції 23–25 мая 2013 года. – Донецк : ДонНГУ, 2013. – Вып. 3. – С. 47–52.
12. Шолох М. В. Моделювання динамічних рядів прогнозування якісних показників руди і корисної копалини у рудній сировині / М. В. Шолох // Науково – техн. збірник «Гірничий вісник» ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг, 2016. – Вип. 101. – С. 49–55.
13. Шолох М. В. Методика визначення і нормування вмісту якісних показників корисних копалин у промислово-балансових запасах / М. В. Шолох. – Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2016. – 160 с.
14. Sholokh M. V. Mine surveying support for internal career averaging of qualitative indicators of minerals in the quarry ore line / M. V. Sholokh // For participation in the 2nd International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Mining Industry». December 14, 2017, Kryvyi Rih. – s. 173.
15. Sholokh M. V. Variance in the ready-to-extract balance industrial deposits with a view of the planned performance of the producing units / M. V. Sholokh, M. P. Sergieieva // For participation in the 2nd International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Mining Industry». December 14, 2017, Kryvyi Rih. – s. 175.
16. Sholokh M. V. Methodology for the standardization losses of ready-to-extract solid minerals / M. V. Sholokh // For participation in the 2nd International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Mining Industry». December 14, 2017, Kryvyi Rih. – s. 179.

Рукопис подано до редакції 10.04.2018

В.А. ЧУБЕНКО, канд. техн. наук, доц, А.А. ХІНОЦЬКА, ст.викладач
Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ СУМІЩЕННЯ ЛИТТЯ-ПРОКАТУВАННЯ ЗА РАХУНОК ЗБІЛЬШЕННЯ ШВИДКОСТІ КРИСТАЛІЗАЦІЇ МЕТАЛУ В МАШИНІ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК

Мета. Метою даної роботи є розробка шляхів підвищення ефективності процесів суміщення лиття-прокатування за рахунок утворення суспензійної розливки сталі в машині безперервного лиття заготовок для збільшення виходу металу.

Методи дослідження. Виконуються теоретичні та емпіричні дослідження, що ґрунтуються на основних фундаментальних положеннях теорії металознавства, термодинаміки, обробки металів тиском, математичної статистики при обробці результатів емпіричних досліджень. Виконано аналіз існуючого стану суміщення процесів лиття-прокатування, де визначено його переваги та недоліки. Для підвищення ефективності виробництва за рахунок збільшення швидкості руху смуги за клітями прийнято рішення використовувати суспензійну розливку сталі у машині безперервного лиття заготовок. Для реалізації процесу суміщення лиття прокатування пропонується використовувати, в якості інокулятора, здрібнену стружку з такого ж матеріалу, що і виготовляється виріб. Інокулятор додається з бункерів у проміжний ківш разом з рідкою сталлю.

Наукова новизна. Визначено перспективи і сформульовані принципи суміщення процесів лиття-прокатування із застосуванням суспензійної розливки сталі, що дозволяє збільшити швидкість кристалізації металічного сплаву.

Практична значимість. Запропоновано спосіб виготовлення круглої сталі діаметром 30 мм з заготовок, що отримані на машині безперервного лиття з використанням суспензії, що забезпечує збільшення продуктивності виробництва.

Результати. Визначено швидкість виходу металічного сплаву з машині безперервного лиття заготовок та руху смуги за клітями в умовах суспензійної розливки сталі і порівняно з такими ж умовами без суспензії. Виявлено збільшення швидкості руху металу при використанні суспензійної розливки сталі на 12-17% в порівнянні з розливкою сталі без використання суспензії. Таке зростання швидкості руху металу відбувається через зменшення часу охолодження рідкої сталі в кристалізаторі машині безперервного лиття. Визначено, що якість металу при суспензійній розливці сталі не погіршується. Пропонуєма технологія дозволяє збільшити продуктивність процесу.

Ключові слова: суспензійна розливка сталі, машина безперервного лиття заготовок, кристалізація металічного сплаву, швидкість руху смуги, суміщення процесів лиття прокатування, продуктивність.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-22-27

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Розвиток сучасної техніки, впровадження нових та удосконалення існуючих машин та механізмів, безперервне підвищення технологічних та експлуатаційних параметрів пред'являє все збільшуючі вимоги до якості металовиробів та їх властивостей. Рішення таких завдань викликає необхідність розробки ефективних технологій, які забезпечують покращення якості та стабільності властивостей виробів, що виготовляються на металургійних підприємствах при мінімальних витратах на їх виробництво.

Це стало можливим завдяки освоєнню ливарно-прокатних модулів, де відбувається суміщення процесів лиття та прокатування, основаними перевагами, яких є, як правило, низька капіталоемність, порівняно невеликі витрати виробничих ресурсів, низький рівень екологічних забруднень та ін. В порівнянні з виробами, які отримані на прокатних станах з виливка, що отриманий у виливниці, використання ливарно-прокатних агрегатів забезпечує: економію металу, збільшення продуктивності роботи машин, зменшення виробничих площин, скорочення чисельності працюючих, покращення якості виробів за рахунок отримання більш однорідної структури сталі, можливість автоматизації та механізації, зменшення терміну окупності при впровадженні нових підприємств та зменшення витрат енергії на виготовлення виробів.

Така технологія на теперішній час досягла суттєвих позитивних результатів, що дозволяє зменшити енерговитрати на виробництво, зменшити кількість машин та агрегатів, які задіяні при виготовленні продукції, знизити собівартість виробництва та збільшити продуктивність праці. Але розвиток такого виробництва стримується через низьку швидкість кристалізації металу, яка призводить до зниження швидкості виходу заготовки з машині безперервного лиття, що суттєво зменшує швидкість прокатування в клітях прокатного стану. В зв'язку з цим, підвищення швидкості кристалізації металу в машині безперервного лиття заготовок – є задача актуальна.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Втрати енергії в чорній металургії пов'язані з

високою температурою процесів, необхідністю багаторазового нагріву і охолодження продуктів переділу, втратами енергії у вигляді випромінювання, конвекції тощо. Тому для зменшення втрат енергії слід знижувати температуру процесів і скорочувати кількість стадій температурних змін [1].

Підвищення вимог до економії енергії, збільшення продуктивності прокатних станів та покращення якості виробів привело до розвитку нових технологічних процесів, які відображують в собі суміщення процесів лиття та прокатування [2, 3, 4, 5].

Безперервна розливка сталі в з'єднанні з прокатуванням сприяє економії капіталовкладень у зв'язку з виключенням витрат на парк виливниць, забезпечує економію енергії, яка витрачається на підігрів зливків у нагрівальному колодязі, дозволяє знизити екологічне навантаження на атмосферу, підвищити якість металопродукції, поліпшити умови роботи обслуговуючого персоналу. Такий процес дозволяє скоротити цикл отримання готової продукції від декількох діб до декількох годин, зменшити масу обладнання приблизно в 1,5 разів, скоротити чисельність працівників на 30 %, збільшити продуктивність процесу на 25 %.

Сутність безперервної розливки в тому, що рідку сталь заливають в форму, що інтенсивно охолоджується – кристалізатор. Частково затверділий зливочок витягують крізь нерухомий кристалізатор. В результаті утворюється безперервний зливочок, який розрізається на заготовки мірної довжини.

Вважається, що першим для виробництва сталевих катанок став ливарно-прокатний модуль (дослідний зразок), який створений у ВНДІМЕТМАШ та введено в дію в 1963 році. Він складався з радіальної машини безперервного лиття заготовок з кристалізатором перерізом 38×45 мм, універсального планетарного стану і чистової групи клітей для прокатування катанки діаметром 6 мм [3].

Схема розміщення основного обладнання ливарно-прокатного модуля показано на рис. 1 [3].

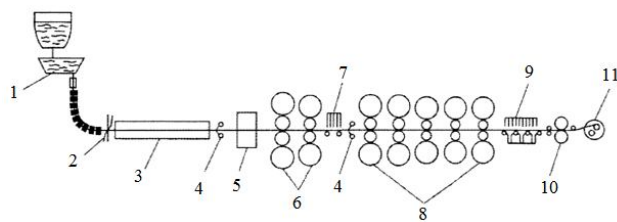


Рис. 1. Схема агрегата DSP [3]: 1 – машина для лиття тонких слябів; 2 – маятникові ножиці; 3 – нагрівальна туннельна піч; 4 – устаткування для явидалення окалини; 5 – кліть з вертикальними валками; 6 – чорнові кліті; 7 – устаткування для переміжного охолодження; 8 – безперервна чистова група клітей; 9 – холодильник; 10 – летучі ножиці; 11 – моталка

Ливарно-прокатні агрегати в теперішній час знайшли широке використання і за межами країни [6, 7]. Протягом усього часу свого існування суміщенні процеси лиття-прокатування постійно удосконалювалися. Пропонуються нові агрегати для отримання листової продукції холодним прокатуванням з алюмінію та його сплавів [8]. Для збільшення продуктивності таких машин пропонуються збільшити ємність ковша і використовувати багаторівничкову машину безперервного лиття [9]. Розглянуто каталог патентів України з удосконалення ливарно-прокатних модулів, що дозволило визначити актуальність та напрям подальших досліджень розвитку даних технологій [10]. Істотно зменшити витрати енергоресурсів дозволяє суміщення машин безперервного лиття з прокатним станом в єдиний ливарно-прокатний агрегат, що дозволяє вести прокатування без окремого нагрівання заготовок [11].

Існують технології, де рідку сталь пропонується швидко зменшувати перегрів металу перед розливанням використовуючи суспензійне розлиття, науковим фундаментом якої є вивчення закономірностей кристалізації металічних розплавів і на цій підставі розробка та практична реалізація ефективних методів керування кристалічною будовою виробу [12]. Використання суспензійної розливки дозволяє істотно підвищити якість виробів: отримати дисперсну і однорідну структуру. При суспензійній розливці утворюються тверді фази екзо- та ендегенного походження та реалізується внутрішній тепловідвід [12]. Найбільш важлива відмінність суспензійної розливки від інших способів лиття є реалізація внутрішнього теплопереносу за допомогою локальних теплостоків – інокуляторів або інтенсифікація теплопереносу в рідкій фазі накладенням зовнішньої дії. Важлива індивідуальна перевага даної технології – наближення процесів модифікування або легування з процесом кристалізації розплаву [12]. В роботі [6] показано, що найбільш сприятливо діє на процес структуроутворення сумісне введення залізного порошку і модифікаторів. При цьому модифікуючі добавки є активними центрами зародження

кристалів, в результаті чого утворюється дисперсна структуру з розвинутою зоною рівновісних кристалів.

Постановка завдання. Для досягнення мети потрібно вирішити наступні завдання: проаналізувати перспективи і сформулювати принципи введення додаткових центрів кристалізації;

визначити швидкість руху металу при використанні додаткових центрів кристалізації в машині безперервного лиття заготовок і встановити ефективність процесів лиття-прокатування в умовах суспензійної розливки сталі.

Викладення матеріалу та результати. Виконуються теоретичні та емпіричні дослідження, що ґрунтуються на основних фундаментальних положеннях теорії металознавства, термодинаміки, обробки металів тиском, математичної статистики при обробці результатів емпіричних досліджень. Досліджувалася швидкість руху металічного сплаву при виготовленні круглої сталі діаметром 30 мм з заготовок, що отримані на машині безперервного лиття. Для цього за машиною безперервного лиття заготовок встановлено прокатний стан, який складається з п'яти робочих клітей.

Швидкість прокатування в кожній клітці визначалася з врахуванням умов постійності секундних об'ємів за формулою (1) [4]

$$v_i = v_{i-1} \cdot \mu_i, \quad (1)$$

де v_i – швидкість прокатування в досліджуемій клітці; v_{i-1} – швидкість прокатування в попередній клітці; μ_i – витяжка в досліджуемій клітці, яка визначалася за формулою (2)

$$\mu_i = \sqrt[n]{\mu_\Sigma}, \quad (2)$$

де n – кількість робочих клітей; μ_Σ – загальний коефіцієнт витяжки, який знаходиться за формулою (3)

$$\mu_\Sigma = F_0 / F_k, \quad (3)$$

де F_0 і F_k – поперечний переріз смуги відповідно на виході з машини безперервного лиття заготовок та з останньої клітці прокатного стану.

Зміна швидкості руху смуги Δ визначалася за формулою (4)

$$\Delta = (v_{\text{сучн}} - v_{\text{без}}) / 100 v_{\text{сучн}} \%, \quad (4)$$

де $v_{\text{без}}$, $v_{\text{сучн}}$ – швидкість руху смуги відповідно в звичайних умовах (без використання суспензії) і в умовах суспензійної розливки сталі, м/с.

Для забезпечення суміщення процесів лиття-прокатування необхідно збільшити швидкість виходу металу з машини безперервного лиття заготовок. Для цього потрібно прискорити процес кристалізації рідкої сталі при виготовленні заготовок [13]. Пропонується використовувати інокулятор в процесі виливання рідкого металу в проміжний ківш машини, завдяки чому утворюється суспензія [14]. В якості інокулятора, що утворює додаткові центри кристалізації, прийнято рішення використовувати здрібнену стружку з того ж матеріалу, що і виготовляється виріб [15]. З метою забезпечення порівняльного аналізу швидкості руху металічного сплаву за клітями прокатного стану, отриманого в умовах суспензійної безперервної розливки співставлялася зі швидкістю металу, що отриманий в звичайних умовах безперервного лиття заготовок.

Виконано дослідження швидкості руху металу при виході з машини безперервного лиття заготовок та за клітями при суміщенні, що дозволило визначити перспективи і сформулювати принципи суміщення процесів лиття-прокатування із застосуванням суспензійної розливки сталі.

Результати дослідження занесені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати дослідження швидкісних умов деформації

Спосіб розливки	F_0 , мм	F_1 , мм	μ_Σ	v_0 , м/с	v_1 , м/с	v_2 , м/с	v_3 , м/с	v_4 , м/с	v_5 , м/с
Без суспензії	6400	707	9,05	3,5	4,63	9,39	14,08	21,12	31,68
З суспенз	6400	707	9,05	4,2	5,56	11,26	16,90	25,34	38,02
Δ	-	-	-	16	17	16,6	12,4	16,7	14

З табл. 1 видно, що забезпечується збільшення швидкості прокатування при суміщенні процесів лиття-прокатування в умовах суспензійної розливки сталі в машині безперервного лиття заготовок.

Для більш наглядного спостереження за змінами швидкісних умов прокатування при виготовленні круглої сталі з заготовки, що отримано у машині безперервного лиття заготовок, побудуємо графік зміни швидкості руху смуги за клітями (рис.2).

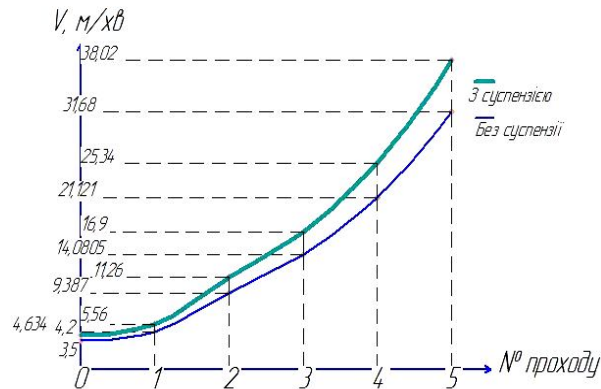


Рис. 2. Зміна швидкості руху смуги за проходами: 1, 2, 3, 4, 5 – номери клітей за рухом прокатування

З рис. 2, що побудовано за табл. 1 видно, що швидкість проходу збільшується за клітями, що відповідає постійності секундних об'ємів. При утворенні суспензії швидкість прокатування збільшується на 12 - 17 %. Це забезпечує процес прискорення кристалізації металічних сплавів в умовах суспензійної розливки сталі в машину безперервного лиття заготовок, що сприятливо впливає на суміщення процесів лиття і прокатування. Така

технологія виявилася достатньо ефективною для прискорення та оптимізації затвердіння рідкої сталі, диспергування структури, усунення ливарних дефектів та лікваций і підвищення рівня механічних властивостей. Збільшення швидкості прокатування забезпечує зменшення такту випуску виробів, що в свою чергу, збільшує продуктивність виробництва круглої сталі, діаметром 30 мм. Такі процеси забезпечують підвищення ефективності суміщення лиття-прокатування.

Висновки. Для забезпечення підвищення ефективності процесів суміщення лиття-прокатування в роботі:

проаналізувано перспективи і сформулювати принципи введення додаткових центрів кристалізації, що дозволяють збільшити швидкість затвердіння рідкої сталі в машині безперервного лиття заготовок;

визначено швидкість руху металу при використанні додаткових центрів кристалізації в машині безперервного лиття заготовок, де видно, що прохід смуги за клітями прискорюється при використанні суспензійної розливки на 12-17 %, що дозволяє зменшити такт випуску і збільшити продуктивність процесу.

Список літератури

1. Губін Г.В. Сучасні промислові способи безкоксової металургії заліза/ Г.В.Губін, В.О. Півень. – Кривий Ріг: ПП «Видавничий дім», 2010. – 366 с.
2. Данченко В. Н. Прогрессивные процессы обработки металлов давлением [Текст] / В. Н. Данченко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 7. – С. 1-8.
3. Минаев А. А. Совмещенные металлургические процессы [Текст]: монография / А. А. Минаев. – Донецк: Технопарк Дон ГТУ УНИТЕХ, 2008. – 522 с.
4. Данченко В.М. Теорія процесів обробки металів тиском: Підручник/ Данченко В.М., Гринкевич В.О., Головки О.М. – Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с.
5. Про переробку відпрацьованих автомобілей / [Г.В. Губін, Ю.П. Калініченко, В.В.Ткач, Г.Г.Губін] //Вісник Криворізького технічного університету. Вип. 31, 2012. – с. 3 – 8.
6. Alzetta F. Luna The Danicli ECR Endless Casting Rolling Plant for Specialty Steels-Technology, Innovation and Benefits/ Alzetta F. //Iron and Steelmaker, 2002. - № 7 – P. 41-49.
7. Minamimura Y. Latest technology for cost and productivity of QSP process/. Minamimura Y., Kanasawa T., Tsujita K // SEASIS Quarterly, 2001. – 30. – №2. – P.10-15.
8. Пат. № 2466808 Российская Федерация, МПК В21В1/46 Литейно-прокатный агрегат для производства листовой холоднокатаной продукции из алюминия и его сплавов [Текст] / Тонконогов В. Я., Чеботарёв В. А., Гесслер Ю. В., Самсонов А. В., Дегтярёв И. Л.; Патентообладатель: Открытое акционерное общество Акционерная холдинговая компания "Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт металлургического машиностроения имени академика Целикова" (ОАО АХК "ВНИИМЕТМАШ")(RU). – заявл. 26.06.2011, опубл. 20.11.2012. – 6 с.
9. Патент України № 58851 МПК В21В1/16 Спосіб прокатки безперервно литої заготовки [Електронний ресурс] / Шум В. Б., Смірнов Є. М., Ємченко А. В.; Алексеев О. В., Асикін А. А, ВАТ "Донецький металургійний завод". – заявл. 21.10.2010, опубл. 26.04. 2011, Бюл. № 8. – Режим доступу: <http://uapatents.com/4-58851-sposib-prokatki-bezperervnolito-zagotovki.html>.
10. Ретроспективный анализ массива опубликованных патентов, характеризующие развитие литейно-прокатных модулей за период 2000-2013 г.г. в Украине и России [Н.Н.Бережной, М.М., Чубенко В.А., А.А.Хиноцька, С.О.Мацшин, А.А.Шепель, В.А.Чубенко]// Технологический аудит и резервы производства. –

2015, №1/1 (21)/ - С. 4-7.

11. Склад В.А. **Прогрессивные энерго- и ресурсосберегающие металлургические технологии** / В.А.Склад// Учебное пособие для обучающихся по направлению «Металлургия», Донецк, ДонНТУ 2014. – 140 с.

12. **Затуловский, С. С.** Суспензионная разливка [Текст] / **С. С. Затуловский**. – К: Наукова думка, 1981. – 260 с.

13. Дослідження швидкісних режимів при суміщенні процесів лиття-прокатування/**Чубенко В.А., Хіноцька А.А., Крупа А.**// Матеріали міжнародної науково-технічної конференції “Розвиток промисловості та суспільства”. – С. 234.

14. Дослідження ефективності суспензійної розливки рідкої сталі у ливарно- прокатні кліті для виготовлення тонких смуг/ **В.А.Чубенко, А.А.Хіноцька, В. Чубенко** //Гірничий вісник. – 2016, Випуск 101. – С. 183 – 186.

15. Study of cooling rate, crystallization duration and metal discharge coefficient in case of continuous casting into foundry and rolling mills/ **Viktoriya Chubenko, Alla Khinotskaya, Valeriy Chubenko** //Metallurgical and Mining Industry. – 2016, № 6. – P. 296 – 300

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

УДК 658.38:621.1

В.Г. НАЛИВАЙКО, канд. тех. наук, доц., **О.Г. МОВЧАН**, канд. хим. наук, доц.,
К.В. ЛОСЬЕВ, ассистент, Криворожский национальный университет

ВАЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАВМООПАСНОСТИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ РЕМОНТНЫХ РАБОТ НА ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Цель. Целью данной работы является разработка способов повышения безопасности труда при эксплуатации и ремонтах теплотрасс и теплогенерирующего оборудования. Также необходимо определить наиболее травмоопасные виды работ и специальности работников предприятий теплоснабжения их выполняющие, предложив способы уменьшения аварийной производственной нагрузки на них. Уменьшение аварийных работ может быть достигнуто путем проведения профилактических работ на теплотрассах и теплогенерирующем оборудовании, сокращая при этом образом количество опасных работ, а так же трудовые и материальные затраты связанные с их выполнением.

Методы исследования. Исследования проводились с использованием математико-статистического метода экспертных оценок. Данный метод позволяет оперативно выявить наиболее проблемные и затратные работы предприятий теплоснабжения, возникающие как в процессе эксплуатации оборудования и теплотрасс, так и с внезапными аварийными ситуациями. Таким образом, можно определить перечень профилактических работ, которые должны быть выполнены в первую очередь.

Научная новизна. Исследования с использованием математико-статистического метода экспертных оценок позволят быстро определить проблемы при организации профилактических ремонтов на предприятиях теплоснабжения.

Практическая значимость. Полученные выводы по результатам исследований позволят разработать рекомендации по уменьшению количества аварийных работ на теплотрассах. Определив наиболее травмоопасные виды работ и специальности работников предприятий теплоснабжения, которые их выполняют, необходимо уменьшить производственную загрузку, связанную с аварийными работами через проведение профилактических работ на наиболее потенциально опасных аварийных участках.

Разработанные рекомендации на основе математико-статистического метода экспертных оценок позволят улучшить производство организационных работ по ликвидации аварийных участков теплотрасс и снизить количество аварийных работ, что в свою очередь, уменьшит заболеваемость работников предприятий теплоснабжения и повысит безопасность труда особенно в осенне-зимний период года, а также сократит экономические потери от ликвидации аварийных ситуаций и лечения заболевших работников теплогенерирующих предприятий.

Результаты. На основании профилактических графиков ремонтных работ можно составить первоочередность замены труб аварийных участков, что намного облегчит планирование ремонтных работ по замене аварийных участков трубопроводов. Наиболее травмоопасными работами являются газосварочные и электросварочные работы соответственно специальностями, их выполняющими, являются газосварщик и электросварщик. Условия их работы эксперты определяют как опасные и вредные.

Ключевые слова: экспертная оценка, математико-статистический метод экспертных оценок, баллы оценки.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-27-32

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Профилактические работы определяют объемы и количество подлежащих замене аварийных трубопроводов. На величину объемов существенно влияет время и условия нахождения трубопроводов под землей, а также их параметры (диаметр, толщина стенок трубопроводов, протяженность аварийных участков).

Приведенные условия могут вызывать возрастание материальных и трудовых затрат, заболеваемости и травмоопасности выполняемых видов работ, особенно это сказывается в осенне-зимний период (работа в холодную и сырую погоду с мерзлым грунтом).

Организационные работы включают: составление графиков ремонтов, заявки на землеройную технику, подготовку ремонтных бригад, а также вывоз демонтированных труб с мест ремонта, доставка и монтаж новых, время демонтажа. Согласование и утверждение этих графиков с вышестоящими структурными подразделениями предприятия, выполнение гидравлических испытаний трубопроводов перед сдачей их в эксплуатацию. Важным фактором в организации ремонтных работ являются разработка и согласование параметров теплоносителя при транспортировании его по замененным и незамененным трубам. Если нагрузки будут не согласованы, то это может привести к серьезным последствиям.

Постановка задачи. В связи с вышеизложенным было проведено анкетирование работников теплогенерирующих предприятий Кривого Рога, таких как «Криворожтеплосеть» и «Криворожская ТЦ» по вопросу установления очередности профилактических работ по замене аварийных трубопроводов с целью уменьшения количества аварийных работ и травмоопасности при их выполнении.

В анкетировании приняли участие работники всех структурных подразделений тепловых предприятий. Вопросы анкеты сведены в табл. 1, на которые отвечали работники и тепловых предприятий КП «Криворожтеплосеть», и «Криворожская теплоцентраль» следующие: (при этом каждому фактору по степени важности эксперты присваивали определенный балл оценки).

Таблица 1

Анкета

Факторы

1. Проведение ремонтных работ только в весенне-летний период.
2. Своевременное выявление возможных порывов на теплотрассах.
3. Составление профилактических графиков, связанных с возможными порывами труб на теплотрассах.
4. Разработка и внедрение методики по определению нахождения участков труб с минимальной толщиной стенки.
5. Разработка и внедрение автоматизированного определения аварийных участков труб.
6. Усовершенствование графика схемы, характеризующей время закладки труб теплотрассы.
7. Увязка параметра теплоносителя с физической характеристикой уложенных труб со временем нахождения их в эксплуатации.
8. Установление взаимосвязи между скоростью коррозии труб и временем нахождения их в эксплуатации.
9. Совершенствование организации ремонтных работ на теплотрассах:
 - соблюдение выполнения графика ремонтных работ;
 - своевременное контролирование параметров теплоносителя в районах производимых ремонтных работ;
 - сведение работ по ремонту до минимума в осенне-зимний период.
10. Прогнозирование аварийных участков теплотрасс: (время их эксплуатации, толщина стенок труб, время транспортирования теплоносителя, условия нахождения труб теплотрасс в лотках (сырость, наличие воды, тепловой изоляции и др. условия).

Примечание	Должность	Ф.И.О	Дата	Подпись
------------	-----------	-------	------	---------

Изложение материала и результаты. Обработка результатов анкетирования была осуществлена с помощью математико-статистического метода экспертных оценок [1]. Сущность его состоит в расположении факторов влияния в определенной возрастающей последовательности и определяемой методом ранжирования. При ранжировании факторы располагают в наиболее рациональном порядке и приписывают каждому из них в порядке возрастания числа натурального ряда - ранги. При этом ранг 1 (один) получает наиболее предпочтительный фактор, а ранг N - наименее предпочтительный. Если все n оценок различны, то соответствующие числа натурального ряда есть ранги оценок i -го эксперта.

Если среди оценок i -го эксперта одинаковые данные, то им назначается одинаковый ранг, равный среднему арифметическому соответствующих чисел натурального ряда. После ранжирования определяют сумму рангов, назначенных экспертами каждому фактору [1].

Наиболее важным считается фактор, получивший наименьшее значение суммы рангов оценок. Важность каждого фактора определяется по среднестатистической величине

$$\bar{x}_n = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}, \quad (1)$$

где X_i - вариант ответа; n - количество экспертов.

Стандартное отклонение рассчитывается согласно формуле

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_A)^2}{n - 1} \quad (2)$$

Степень соответствия мнений экспертов определяется коэффициентом вариации [1]

$$W_A = S/\bar{x}_A, \quad (3)$$

где S - среднеквадратическое отклонение; x_A - средняя статистическая величина.

Результаты экспертной обработки представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты экспертной обработки

Факторы	Средне-статистическая оценка \bar{x}_A	Сумма рангов оценок S	Коэффициент вариации W_A
1. Проведение ремонтных работ только в весенне-летний период	10,8	68	96
2. Своевременное выявление возможных порывов на теплотрассах	14,3	59	72,8
3. Составление профилактических графиков, связанных с возможными порывами труб на теплотрассах	7,5	82	90,5
4. Разработка и внедрение методики по определению нахождения участков труб с минимальной толщиной стенки	11	63	77,9
5. Разработка и внедрение автоматизированного определения аварийных участков труб	8,7	74	85,4
6. Усовершенствование графика схемы, характеризующий время закладки труб теплотрассы	6,2	76	71,6
7. Увязка параметров теплоносителя с физической характеристикой уложенных труб с временем нахождения их в эксплуатации	10,5	68	97
8. Установка взаимосвязи между скоростью коррозии труб с временем их нахождения в эксплуатации	6,85	67	74,9
9. Совершенствование организации ремонтных работ на теплотрассах: соблюдение выполнения графика ремонтных работ; своевременное контролирование параметров теплоносителя в районах производимых ремонтных работ; сведение работы по ремонту до минимума в осенне-зимний период	17,7	58	93
10. Прогнозирование аварийных участков теплотрасс: (время их эксплуатации, толщина стенок труб, время транспортировки теплоносителя, условия нахождения труб теплотрасс в лотках (сырость, наличие воды, тепловой изоляции и др. условия)	12,7	64	94,9

Как показывают результаты обработки статистических данных по порывам и замене пришедших в негодность труб на новые, частота их порывов зависит от диаметра труб - чем больше диаметр трубы, тем меньше количество замененных труб (рис. 1).

На рис. 2 приведены кривые, характеризующие количество замененных труб при порывах в зависимости от диаметра и времени года их ремонта [4]. Кроме того, из рисунка следует, что замена аварийных труб осуществлена в течение всего эксплуатационного периода, что подтверждается результатами исследований (рис. 2).

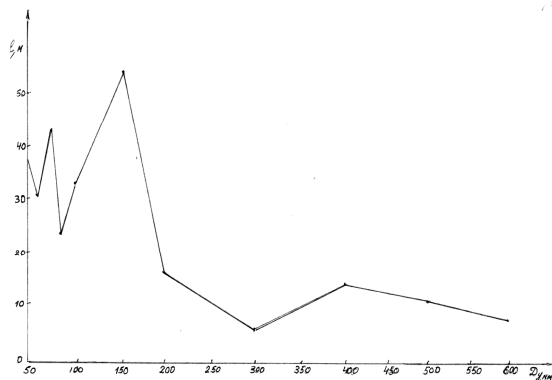


Рис. 1. Зависимость количества замененных участков тепловодов от диаметра труб за период 2003-2005 гг.

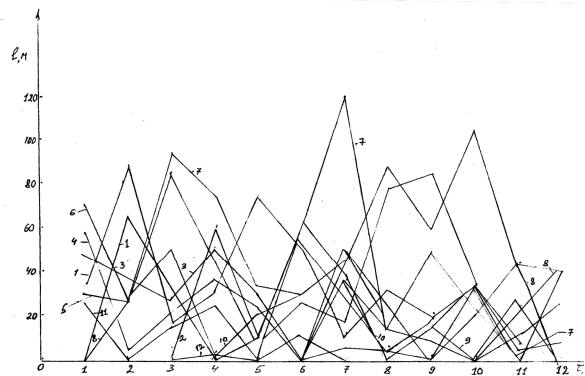


Рис. 2. Зависимость количества замененных труб на участках от диаметра труб и времени года за период 2003-2005 гг.: 1 - $d = 50$ мм; 2 - $d = 60$ мм; 3 - $d = 70$ мм; 4 - $d = 80$ мм; 5 - $d = 100$ мм; 6 - $d = 150$ мм; 7 - $d = 200$ мм; 8 - $d = 250$ мм; 9 - $d = 300$ мм; 10 - $d = 400$ мм; 11 - $d = 500$ мм; 12 - $d = 600$ мм

Максимальное количество порывов и замененных труб соответствует следующим периодам и месяцам года: осенне-зимний период (октябрь-февраль) и весенний период (март-апрель). Это можно объяснить тем, что в эти периоды года значительно увеличивается тепловая нагрузка на теплопроводы. Ремонтные работы, проводимые по восстановлению теплопроводов, в осенне-зимний период связаны с холодными метеорологическими условиями, а следовательно, и временем нахождения рабочих на ремонтных работах.

Обслуживающий персонал по ремонту труб находится на открытом пространстве и подвергается воздействию метеоусловий. Согласно Украинскому центру радиологии и контроля загрязнения природной среды БРиС Укр. ЦРКЗПС и СНИП [2] средняя температура в холодный период составляет $-8,5$ °С. В этот период преобладают ветры северного и северо-восточного направлений, скорость которых достигает 15-22 м/с [5]. Рабочие, находящиеся на открытых площадках по ликвидации порывов и замене труб, переохлаждаются и подвергаются различного рода заболеваниям. Количество заболевших трудящихся предприятий ПАТ «Криворожская теплоцентральный» и КПТС «Криворожтеплосеть» по месяцам года за период 2003-2005 гг. приведены в табл. 3.

Таблица 3

Динамика заболеваний трудящихся ПАТ «Криворожская теплоцентральный» и КПТС «Криворожтеплосеть»

Год	Месяц											
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
2003	122	147	178	115	111	72	148	77	131	142	102	121
2004	84	101	53	71	31	31	31	22	72	49	76	98
2005	51	84	147	76	55	53	56	57	65	81	67	130

Максимальное количество заболеваний приходится на периоды года, которые совпадают со временем ликвидации порывов и заменой труб (см. рис. 2 и табл. 3).

Анализ результатов обработки показывает, что такие факторы как своевременное выполнение профилактических работ и внедрение методик по определению интенсивности коррозии стенок трубопроводов, позволяет установить объемы аварийных работ и протяженность трубопроводов подлежащих замене.

Составление графика ремонтных работ дает возможность прогнозировать дальнейшее время эксплуатации труб. По данным Министерства ЖКХ Украины 15 % от общего количества проложенных теплотрасс в настоящее время находятся в аварийном состоянии и требуют замены. В связи с приведенным профилактический ремонт приобретает важное значение.

Аварийное состояние трубопроводов приводит к нарушению технологии эксплуатации, а также под влиянием временного фактора к сбоям теплоснабжения потребителей. При устранении аварийных ситуаций, возникают непредвиденные обстоятельства приводящие к травмам или ухудшению состояния здоровья рабочих, так как аварийные работы могут осуществляться в различные временные периоды года т.е. в различных метеорологических условиях [6].

С целью выявления основных травмоопасных профессий при производстве ремонтных работ и эксплуатации технологического оборудования на предприятиях КПТС «Криворожтеплосеть», ПАТ «Криворожская теплоцентральный» было проведено анкетирование среди работников занятых на ликвидации аварий. В этом анкетировании приняли участие также ИТР, работники отдела ТБ, газосварщики, электросварщики, слесаря по ремонту теплотехнического оборудования др. Особое внимание было уделено рабочим профессиям: газосварщикам, электросварщикам, слесарям по ремонту теплотехнического оборудования которые несут основную нагрузку при устранении аварий. Вопросы на которые отвечали анкетированные приведены в табл. 4.

Таблица 4

Оценка травмоопасности видов работ по предприятиям КПТС «Криворожтеплосеть» и ПАТ «Криворожская теплоцентральный»

Специальность	Условия работы (сложные, опасные, вредные)	Кол-во баллов	
		Вид работ	
		ремонт	эксплуатация
1	2	3	4
Газосварщик			
Электросварщик			
Слесарь по ремонту теплового оборудования			
Слесарь-троссовик			

1	2	3	4
Работник КИП			
Электрик			
Инженер-наладчик			
Оператор котельной			

Примечание	Должность	Ф.И.О	Дата	Подпись

Обработка результатов анкетирования осуществлена методом экспертных оценок [1].

Результаты анализа полученных данных приведены в табл. 5.

Таблица 5

Оценка наиболее травмоопасных специальностей предприятий теплоснабжения

Виды работ	Среднестатистическая оценка \bar{x}_A	Сумма рангов оценок S	Коэффициент вариации W_A
Газосварщик	20,0	57	76,0
Электросварщик	17,0	63	71,0
Слесарь по ремонту теплового оборудования	14,8	98	95,0
Электрик	14,2	106	97
Слесарь по ремонту теплотрасс	13,6	105	89,2
Оператор котельной	9,53	139	83,3
Инженер-наладчик	7,6	142	97,8
Работник КИП	7,0	121	74,0

Анализ данных таблицы показывает, что наиболее травмоопасными профессиями являются: газосварщики, электросварщики, слесаря по ремонту теплового оборудования, слесаря по ремонту теплотрасс, электрики [3]. Наиболее травмоопасные профессии (газосварщики, электросварщики) подтверждаются данными табл. 5: среднестатистической оценкой (\bar{x}_A) соответственно 20 и 17, суммой рангов оценок (S) 57 и 63 и коэффициентами вариации (W_A) – 76 и 71.

В связи с этим указанным профессиям при выполнении ремонтных и эксплуатационных работ необходимо уделять основное внимание. А такие профессии как: работники КИП, инженеры-наладчики, операторы котельных установок характеризуются низкими величинами среднестатистической оценки и высокой суммой рангов оценок можно отнести к менее травмоопасным профессиям. Из практики работы этих специалистов занятых на ремонтных работах известно, что они работают в неограниченном пространстве в закрытых помещениях которые противостоят влиянию метеоусловий (понижение температуры, скорости ветра, выпадение осадков), что благоприятно сказывается на состоянии здоровья работников.

Персонал (операторы котельных, инженеры КИП) подвергаются травмоопасным условиям при розжиге котлов, регулировке аппаратуры связанной с поддержанием необходимых параметров теплоносителя [9]. Эта травмоопасность особенно проявляется при работе данных работников в ночное время, поэтому плановыми работами для уменьшения травмоопасности необходимо исключить эти работы в ночное время [8]. Работа газосварщиков, электросварщиков часто осуществляется в закрытых помещениях в ограниченном пространстве (тепловые камеры, топки котлов) где концентрация вредных выбросов (CO_2 , угарный газ, сажа) превышают нормативы и также практически отсутствует хорошая вентиляция, поэтому ликвидация аварий осуществляется в сложных технологических условиях [7]. Часто газосварщики, электросварщики выполняют аварийные работы совмещая их с плановыми а это приводит к тому, что работники этих профессий выполняют работы с дополнительной физической нагрузкой, что приводит к возникновению травмоопасных условий [10]. Кроме того работники этой профессии по технологическим условиям выполняют работы на высоте, что дополнительно связано с метеоусловиями и в совокупности воздействие вышеуказанных факторов может привести к ухудшению состояния их здоровья. Таким образом, учитывая вышеприведенное, профессии газосварщика и электросварщика относят к наиболее травмоопасным, а условия их работы считаются вредными.

Выводы и направление дальнейших исследований. На основании профилактических графиков можно составить первоочередность замены труб аварийных участков, что намного

облегчит планирование ремонтных работ по замене аварийных участков трубопроводов. Данные табл. 1 показывают, что все способы по ремонту теплотрасс актуальны [4]. Однако первоочередными необходимыми работами эксперты считают пункты: П1, П2, П4, П7, П8, П10. Выполнение этих пунктов позволит улучшить производство организационных работ по ликвидации аварийных участков теплотрасс и снизит количество аварийных работ, что в свою очередь, уменьшит их травмоопасность и заболеваемость работников, повысит безопасность труда особенно в осенне-зимний период.

Список литературы

1. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. - 2-е изд перераб и доп. - М.: Статистика, 1980.
2. Вчерашний Р.П., Елгаренко Е.А., Давыденко А.А. Использование экспертных методов в информационных исследованиях, М. Информ. 1983.
3. Гольшев А.М., Лосьев К. В. Определение степени травмоопасности основных видов ремонтных и эксплуатационных работ на предприятиях теплоснабжения, Вестник Криворожского технического университета, 2007
4. Лосьев К. В. Установление очередности профилактического ремонта по замене аварийных участков трубопроводов и теплотрасс и влияние их количества на безопасность труда, Вісник КТУ, збірник наукових праць- 2008. Вип № 21. с 183-186
5. СНиП 2.01.01.82 Строительная климатология и геофизика.
6. Аскользин П.А. Предупреждение коррозии оборудования технического водоснабжения и теплоснабжения, под. общей ред. Колотурина Я.М., Москва, Металлургия, 1988.
7. Акоюн К.М. Охрана труда в коммунальной энергетике: справочное пособие, Москва, 1986.
8. Степанский О.П. Проведення аналізу травматизму, професійних захворювань, аварійності умов та безпеки праці і розробка рекомендацій по усуненню причин їх виникнення, збірник НДБПГ, 1997.
9. Панин В.И. Обслуживание коммунальных котельных и тепловых сетей, Москва, Стройиздат, 1974.
10. Онищенко Н.П. Охрана труда при эксплуатации котельных установок, Москва, Стойиздат, 1991.
11. Правила технічної експлуатації теплових установок і мереж в Україні, Міністерство юстиції України, № 197/13464, 2007р.

Рукопись поступила в редакцию 04.04.2018

УДК 622.7: 658.562

О.І. САВИЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., М.А. ТИМОШЕНКО, аспірант,
Криворізький національний університет

РОЗРОБКА МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРЬОХСТАДІЙНИМ ЗБАГАЧЕННЯМ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ З ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДІВ НЕЧІТКОГО КЕРУВАННЯ

Мета. Метою даної роботи є обґрунтування використання методів нечіткого регулювання і мультиагентного керування для моделювання процесів збагачення залізної руди на ділянці секції збагачувальної фабрики. Складність, інерційність, нестаціонарність та динамічність технологічних процесів, що відбуваються на збагачувальній фабриці, наявність складних зв'язків та рециклів між технологічними механізмами обумовлюють застосування вищевказаних методів автоматизованого керування технологічними процесами.

Методи дослідження. Проведено аналіз сучасних методів та засобів моделювання процесів роботи технологічних механізмів. Особливу увагу приділено розподілені системам керування та доцільності їх використання у складному технологічному процесі для моделювання зв'язків між стадіями та створення математичної моделі секції збагачення. З метою моделювання роботи окремих стадій збагачення проаналізовано сучасні напрямки автоматизованого керування, їх переваги та недоліки стосовно застосування до вирішуваної проблеми.

Наукова новизна. Розв'язання поставленої задачі складає актуальність роботи. Її метою є обґрунтування вибору методів мультиагентного керування та нечіткого регулювання у порівнянні з класичним розподілені керуванням та іншими сучасними методами інтелектуального керування.

Практична значимість. Обґрунтовано застосування системи мультиагентного керування для моделювання інформаційних зв'язків між стадіями секції збагачувальної фабрики. Проаналізовано сучасні засоби інтелектуального керування стосовно моделювання роботи окремих технологічних механізмів – засоби нечіткої логіки, штучного інтелекту.

Результати. На основі проведеного аналізу було визначено, що класичні методи розподіленого керування не доцільно застосовувати до збагачувальних процесів. Мультиагентне керування дає змогу керувати процесами більш гнучко та досягнути автономності керування кожною стадією збагачення окремо. Для корекції керуючих впливів залежно від потреб стадій та вимог до отриманої якості кінцевого продукту доцільно застосовувати нечіткі регулятори з підтримкою їх роботи нечіткими базами знань та координуючою нейро-нечіткою мережею.

Ключові слова. Збагачення, залізна руда, автоматизація, мультиагентне керування, системний підхід, нечітка логіка.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-32-36

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На сьогодні головною метою виробництва є зниження собівартості продукту. Комплексна оптимізація автоматизованого керування, застосування новітніх підходів та сучасного обладнання дозволяють підвищити показник енергоефективності виробництва та його економічні показники.

Фабрика збагачення залізної руди містить у собі різні технологічні механізми, принципи керування якими вимагають потребують знання фізичних умов та особливостей роботи механізмів, різноманітного обладнання та точних обчислень. Крім того, вони перебувають у взаємозв'язку і безпосередньо впливають на взаємну роботу один одного – неефективна робота одного технологічного механізму тягне за собою неефективну роботу наступних механізмів. Аналіз результатів застосування класичних методів автоматизованого керування показав, що у більшості випадків головна увага приділяється керуванню окремими механізмами за прийняття припущення, що інші працюють згідно норми. Керування ділянкою секції збагачувальної фабрики загалом дасть змогу охопити весь процес цілком, проаналізувати технологічні зв'язки між механізмами та їх вплив на загальну роботу секції [1-3].

Аналіз досліджень та публікацій. Для вирішення поставлених задач дослідження процесу збагачення залізної руди загалом необхідно сформувати єдину модель системи керування, яка повинна безперервно визначати і відстежувати характеристики об'єкта управління; обов'язково використання зворотного зв'язку та наявності надійної автоматизованої інформаційної системи [4, 5]. Керування такими системами завжди проходить в умовах принципової невизначеності розвитку і неповної спостережуваності. Побудова формальних моделей для більшості процесів збагачувальної фабрики представляється досить складною.

Дану проблему дозволяє вирішити застосування мультиагентних систем керування (МАС), що враховують взаємодію різних компонент виробництва, що включають технічні та технологічні об'єкти процесу збагачення залізної руди. Однак, збагачувальна промисловість має низку специфічних рис, що обумовлюють складність впровадження формальних методів та моделей керування. Найбільш відмінною рисою є характер виробництва – дискретно-неперервний. Також слід враховувати специфіку самої системи керування, що включає складні функціональні блоки керування окремими технологічними процесами – подрібненням, розділенням, знешламленням, мокрою магнітною сепарацією. Це викликає необхідність здійснення певних класифікацій параметрів функціонування збагачувального підприємства і різних типів агентів для того, щоб коректно підійти до математичних постановок задач. Простими параметрами є ті, які можна знаходити відокремлено. Складні і змінні, відповідно, навпаки.

Згідно [6-9] параметри агентів представляються, або простими, або складними, але можуть бути одночасно як постійними, так і змінними, що обумовлено специфікою збагачувальної фабрики, де більшість процесів не являються детермінованими. І в подальшому можуть описуватися величинами, які можуть бути передбачені, або випадковими. Подібна класифікація показує, що формальні існуючі на сьогоднішній день моделі прогнозу і керування в збагачувальній промисловості не завжди застосовні на підприємстві і виникає необхідність створення принципово нових підходів створення мультиагентних систем [10, 11].

Створення даних елементів МАС уявляється можливим при використанні наступних агентів керування (табл. 1), для яких характерно доцільну поведінку, що припускає наявність у агента цілей функціонування і здібностей використовувати знання про навколишнє середовище, партнерів і про свої можливості.

Згідно зазначених властивостей найоптимальнішим вибором для поставлених задач є агенти розширеного та інтелектуального типів.

Для керування трьохстадійним комплексом збагачення доцільно застосувати традиційні засоби автоматики у поєднанні з методами нечіткої логіки, які дозволяють оперувати не з обмеженими числовими значеннями, а з лінгвістичними змінними. Це дозволяє розглядати весь комплекс як більш адекватну, наближену до реальних умов систему і здійснювати керування у реальному часі на основі деякої експертної бази знань. Оперування лінгвістичними змінними

дає змогу більш коректно давати завдання інтелектуальним агентам керування. Таким чином, нечітке регулювання доповнює роботу мультиагентної системи керування для підвищення швидкодії та точності автоматизованого керування [12-15].

Таблиця 1

Класифікація властивостей агентів, що можуть увійти до МАС, створеної на збагачувальній фабриці

Признак	Тип агента		
	простий	розширений	інтелектуальний
Автономність	+	-	+
Взаємодія з іншими агентами	+	+	+
Реактивність	+	+	+
Здатність використання абстракції	-	+	+
Адаптивна поведінка	-	+	+
Навчання на основі взаємодії з довкіллям	-	-	+
Толерантність до похибок і/або невірних вхідних сигналів	-	-	+
Функціонування в режимі реального часу	-	-	+

Постановка задачі. Метою дослідження обрано розробку мультиагентної системи автоматизованого керування ділянкою секції збагачення залізної руди. Для досягнення вказаної мети були поставлені наступні задачі: проаналізувати вплив зв'язків між механізмами на ділянці секції збагачувальної фабрики на загальний результат їх роботи; обрати сучасні засоби автоматизованого керування, що можуть вирішити поставлені завдання; створити загальну модель системи мультиагентного керування трьохстадійним збагаченням залізної руди з застосуванням обраних методів.

Викладення матеріалу та результати. Мультиагентна система має на увазі автономну роботу кожної підсистеми автоматизованого керування окремо при мінімальному втручанні координуючого органу керування. Для застосування даного підходу до автоматизованої системи керування трьох стадійною ділянкою секції збагачення залізної руди було прийнято, що кожна стадія є окремим агентом керування та вирішує власні локальні підзадачі, спрямовані на кінцеву ціль підвищення якості кінцевого продукту. З урахуванням складності вимірювань більшості параметрів роботи технологічних механізмів та оброблюваних ними продуктів запропоновано наступну систему керування, що поєднує у собі концепції мультиагентного керування та нечіткого регулювання (рис. 1).

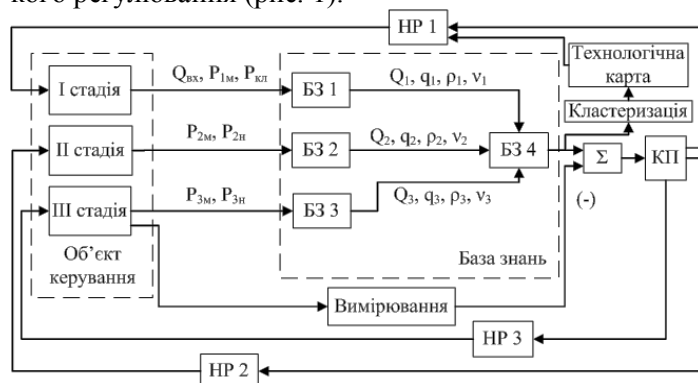


Рис. 1. Загальна схема мультиагентної системи керування трьохстадійним збагаченням залізної руди

На рис. 1 прийнято наступні позначення: НР – нечіткий регулятор; БЗ – база знань; КП – координуючий пристрій; Q_{vx} – продуктивність живлення; P_{kl} – потужність двигуна спірального класифікатора; P_{1m}, P_{2m}, P_{3m} – потужності двигунів відповідно першої, другої та третьої стадій збагачення; P_{2n}, P_{3n} – потужності насосів гідроциклонів від-

повідно другої та третьої стадій збагачення; Q_1, Q_2, Q_3 – продуктивності за кінцевими продуктами стадій збагачення; q_1, q_2, q_3 – гранулометричний склад кінцевих продуктів стадій збагачення; ρ_1, ρ_2, ρ_3 – густини кінцевих продуктів стадій збагачення; v_1, v_2, v_3 – вміст магнітного заліза кінцевих продуктів стадій збагачення.

Автоматизована система керування працює наступним чином. На першій стадії керування здійснюється вимірювання поточної продуктивності живлення, активної потужності двигунів млину та спірального класифікатора; на другій та третій стадії – активних потужностей двигунів млинів та гідроциклонів. Кожній стадії збагачення відповідає власна нечітка база знань, яка порівнює отриману інформацію згідно бази нечітких правил та на виході дає інформацію по кожній стадії згідно таких параметрів як продуктивність, гранулометричний склад, густина кінцевого продукту та вміст магнітного заліза у ньому. Дані параметри дуже складно виміряти прямим шляхом через надмірну дороговизну вимірюючих механізмів, складність вимірювань та їх низьку точність. Технологія моделювання значень невимірюваних характеристик на прикладі віртуальних аналізаторів (SoftSensors) дає змогу значно зменшити кількість встановлюва-

них датчиків і таким чином є економічно вигідною.

Отримана інформація надходить до загальної бази знань (БЗ4), яка на базі роботи перших двох стадій корегує та уточнює результати роботи третьої кінцевої стадії. Отримана інформація є бажаною характеристикою кінцевого продукту (концентрату) ділянки секції збагачувальної фабрики. Далі реальні результати вимірювань роботи третьої стадії збагачення порівнюються з бажаними і різниця між ними поступає до координуючого пристрою на базі нейро-нечіткої мережі. Він приймає рішення щодо корекції роботи окремих стадій збагачення та сигналізує про це нечітким регуляторам. Згідно власних баз нечітких правил вони вробляють опосередковані керуючі впливи на роботу технологічних механізмів, наприклад, додавання технологічної води до зумпфів гідроциклонів, регулювання частоти обертів млинів та спіралі класифікатора, регулювання завантаження певної кількості гідроциклонів та магнітних сепараторів із їх сукупності в межах однієї стадії.

Дана система дає можливість корекції технологічної карти виробництва. Технологічна карта створюється на базі експертних оцінок і дає інформацію хоч і досить точну, але дискретну з великим періодом дискретизації між оцінками. Збір даних у базах знань дозволить заповнити пробіли у технологічній карті і організувати її самонавчання. Застосовуючи нечітку кластеризацію методом с-середніх на базі даних отриманих з загальної бази знань (БЗ4) можна визначити мінералого-технологічний різновид оброблюваної руди, максимально близький до вже наявних у технологічній карті. При обробці руди, показники якої досить сильно відрізняються від показників вже визначених різновидів або з однаковою долею належать до декількох різновидів, до технологічної карти можна внести нову інформацію зареєструвавши в ній новий різновид усередненої руди, що і складає сутність самонавчання та самоорганізації технологічної карти. Інформація з технологічної карти надходить до нечіткого регулятора першої стадії для більш точного визначення керуючих впливів, так як саме перша стадія відповідає за початкову рудообробку та підготовчі процеси до наступних стадій і саме тут інформація про оброблюваний різновид руди має найбільшу вагу.

Дана система керування відповідає властивостям інтелектуальних агентів керування. Автономність роботи кожної стадії збагачення залізної руди як агенту керування підкріплюється властивістю колегіальності агентів – коли автономна робота кожного спрямована на досягнення загальної мети, а збір даних у базах знань дозволяє реалізувати властивість адаптації до зовнішніх умов та самонавчання.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Проведений аналіз дає змогу стверджувати, що застосування мультиагентного керування значно підвищує точність керування технологічними механізмами збагачувальної фабрики та загалом робить керування більш адаптованим до реальних умов та вимог, що ставляться до якості та кількості концентрату. Застосування ж сучасних засобів керування, таких як засоби нечіткої логіки та штучного інтелекту, в цілому підвищує швидкодію та точність керування.

Вдосконалення методу моделювання технологічного процесу на кожній стадії збагачення і зв'язків між ними за рахунок використання властивостей інтелектуальних агентів та нечітких баз знань дозволить підвищити точність керування в умовах нестаціонарності та інерційності процесів збагачувальної фабрики. Можливість самонавчання технологічної карти дає змогу значно спростити керування у майбутньому при досягненні достатньої кількості накопичених знань та даних.

Напрямок подальших досліджень є детальніше дослідження можливостей самонавчання технологічної карти, включення її до системи та налаштування нейрон-нечіткої мережі координуючого пристрою.

Список літератури

1. **Morkun V.** Optimization of the second and third stages of grinding based on fuzzy control algorithms / V. Morkun, O. Savvitskiy, M. Tymoshenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №8. – P. 22–25.
2. **Ragot J.** Transient study of a closed grinding circuit / [Ragot J., Roesch M., Degoul P., Berube Y.] — 2-nd IFAC Symp. "Automat. Mining, Miner. and Metal. Proc." – Pretoria. – 1977. – P. 129-142.
3. **Schubert H.** Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. – Leipzig, 1967, Bd. 11, p. 472.
4. **Sbarbaro D.** Advanced control and supervision of mineral processing plants / D. Sbarbaro, R. del Villar., 2010. – 311 p.
5. **Щокін В. П.** Метод нейро-нечіткого формування електроспоживання збагачувальними фабриками / В. П. Щокін // Восточно-Европейський журнал передових технологій. – 2012. - №60. – С. 47-52.
6. **Gurocak H.B.** Fuzzy rule base optimization of a compliant wristsensor for robotics // J. Robotic Systems. 1996. № 13. P. 475-487.
7. **Wang L.-X.** Stable adaptive fuzzy control of nonlinear systems // IEEE Trans. Fuzzy Systems 1993. № 1 (2). P 146–155.
8. **Spooner J.T., Passino K.M.** Stable adaptive control using fuzzy systems and neural networks // IEEE Trans. Fuzzy Systems. 1996. № 4 (3). P. 339–359.

9. **Shchokin V.** The example of application of the developed method of Neuro-Fuzzy rationing of power consumption at JSC "YuGOK" mining enrichment plants / V.Shchokin, O. Shchokina, S. Berezhniy// Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №2. – P. 19–26.

10. **Morkun V.** Distributed closed-loop control formation for technological line of iron ore raw materials beneficiation / V.Morkun, N. Morkun, V. Tron// Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №7. – P. 16–19.

11. **Kondratets V.** Adaptive control of ore pulp thinning in ball mills with the increase of their productivity / V. Kondratets// Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №6. – P. 12–15.

12. **Porkuiian O.** Adaptive control of ore pulp thinning in ball mills with the increase of their productivity / O. Porkuiian// Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №6. – P. 29–31.

13. **Дик И. Г.** Управление характеристиками гидроциклона дополнительным инжектированием воды / И. Г. Дик, А. В. Крохина, Л. Л. Миньков // Теоретические основы химической технологии. – 2012. – том 46. – №3. – С. 342-352.

14. **Бастан П. П.** Теория и практика усреднения руд / П. П. Бастан, Е. И. Азбель, Е. И. Ключкин. – М. : Недра, 1979. – 255 с.

15. **Хан Г. А.** Автоматизация обогатительных фабрик / Г. А. Хан, В. П. Картушин, Л. В. Сорочер, Д. А. Скрипчак. – М. : Недра, 1974. – 280 с.

Рукопис подано до редакції 18.04.2018

УДК 504(075.8)

Е. В. ЧАСОВА, канд. хім. наук, доц., О. В. ДЕМЧИШИНА, канд. хім. наук, асист.,
В.В. БОРИСЕНКО, В.І. ЛИСЕНКО, студенти, Криворізький національний університет

ФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ АНІОННИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Постановка завдання. Поверхнево-активні речовини відносяться до особливої групи органічних забруднювачів навколишнього середовища. Тому контроль змісту ПАР у стічних водах Кривбасу є актуальним. Визначення аніонних поверхнево-активних речовин в природних водах м. Кривого Рогу проводилось з використанням акридінового жовтого в якості реагента в екстракційно-фотометричному методі.

Методи дослідження. Для фотометричного визначення аПАР готували розчин акридінового жовтого (концентрація 0,1 г/дм³) розчиненням точної наважки в дистильованій воді. Для побудови градуувального графіку готували розчини аПАР (натрію додецилсульфату) щоденно з вихідного розчину аПАР (концентрація 0,1 г/дм³). Всі реактиви мали марку «х.ч» або «ч.д.а.». Рівень рН розчинів контролювали і необхідним чином підбирали, використовуючи рН-метр-мілівольтметр. Оптичну густину водних розчинів, органічних екстрактів градуувальних розчинів та проби води вимірювали на фотоколориметрі КФК-2, у кюветах з товщиною поглинаючого шару 1 см. Квантово-хімічне моделювання проводилось за допомогою неемпіричних методів програми WinGAMES. В якості розрахункового метода був обраний необмежений метод Хартрі-Фока, з використанням DFT – теорії. Для врахування сольватації використовувалася модель поляризаційного континууму.

Наукова новизна. Актуальним є використання акридінового жовтого, в якості нового реагента в екстракційно-фотометричному методі. Дослідження властивостей акридінового жовтого. Підтвердження квантово-хімічними розрахунками запропонований хімізм процесу іонізації молекули акридінового жовтого.

Практична значимість. Запропонована методика дозволить контролювати вміст аПАР у стічних водах заводськими лабораторіями або лабораторіями очисних споруд.

Результати. Підбрано оптимальні умови та визначено вміст аніонних поверхнево-активних речовин в природних водах з акридіновим барвником. Встановлено вплив рН на водні розчини акридінового жовтого. Виміряна оптична густина органічних екстрактів та водних розчинів органічного барвника при довжині хвилі, яка відповідала максимальному значенню оптичної густини, $\lambda = 440$ нм. За допомогою градуувального графіка визначено концентрацію, яка знаходиться в межах ГДК, аПАР у досліджуваній воді.

Ключові слова: аніонні поверхнево-активні речовини, акридіновий жовтий, екстракти.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-36-39

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Гірничозбагачувальні комбінати – це великі промислові підприємства інтенсивного видобутку та переробки корисних копалин. В результаті технологічних процесів, пов'язаних з переробкою та збагаченням корисних копалин, крім отримання корисних продуктів відбувається забруднення навколишнього середовища. Одним із джерел попадання небезпечних речовин у навколишнє середовище є стічні води. Такими забруднюючими речовинами стічних вод є важкі метали та поверхнево-активні речовини. Можливість потрапляння таких речовин у природні води з промисловими та побутовими стічними водами є однією з суттєвих загроз екологічного стану навколишнього середовища.

Аналіз досліджень і публікацій. Стічні води – це використані промисловими й комунальними підприємствами води, що забруднені різними домішками. Одними з найбільш розповсюдженими хімічними забруднювачами є поверхнево-активні речовини (ПАР) [1, 2].

Поверхнево-активні речовини – органічні речовини різної хімічної будови, адсорбуються на поверхні твердих і рідких тіл, що об'єднуються за специфічними властивостями. ПАР знижують поверхневий натяг на поверхні розділу фаз (рідина-рідина, газ-рідина, тверда речовина-рідина), сприяють розчиненню у воді речовин, в звичайних умовах в ній нерозчинні.

У зв'язку з цим для ПАР характерні наступні практично важливі властивості (проявляються не однаковою мірою у різних ПАР): здатність до змочування, піноутворення, утворення і стабілізація емульсій та суспензій, миючу і захисну колоїдну дію. ПАР поділяють на чотири групи: аніоноактивні, катіоноактивні, неіоногенні та амфолітні (амфотерні) [3, 4].

Аніонні поверхнево-активні речовини (аПАР) – сполуки, які у водному розчині в результаті дисоціації утворюють поверхневі (адсорбційні) активні аніони та (адсорбційно) неактивні катіони.

До них відносяться:

алкілсульфати $C_nH_{2n+1}OSO_3Me$, де $n = 8 \div 18$ атомів Карбону в молекулі, Me – атоми металів Na, K;

алкілсульфонати $C_nH_{2n+1}SO_3Me$, де $n = 12 \div 18$ атомів Карбону в молекулі;

алкіларилсульфонати, а саме моно- і -диалкілбензолсульфонати $C_nH_{2n+1}C_6H_4SO_3Na$, де $n = 12 \div 18$ атомів Карбону в молекулі.

Будова молекул аПАР може містити різноманітні іоногенні та неіоногенні полярні групи, наприклад сополімери акрилового ряду, ефіри целюлози [5].

Застосовують аніонні поверхнево-активні речовини в промисловості, в якості флотореагентів при флотаційному збагаченні корисних копалин; для обробки металів і матеріалів; покращення процесів диспергування рідин і твердих тіл, як стабілізатори дисперсних систем-паст, пін, емульсій [6].

Збільшення виробництва і використання, поверхнево-активних речовин в різноманітних миючих засобах призвело до їх потрапляння зі стічними водами у природні водойми. АПАР можуть погіршувати якість води, самоочисну здатність водойм, тому потрібно контролювати їх вміст у воді [7].

Серед фізико-хімічних методів аналізу екстракційно-фотометричний метод відрізняється від інших надійністю, чутливістю, відтворюваністю та доступністю. Тому нами був запропонований метод фотометричного визначення аПАР. Він базується на екстракції хлороформом іонних асоціатів, які утворюються при взаємодії аПАР з катіонним барвником.

Частіше всього в даному методі використовують органічний барвник: метиленовий синій, метиленовий зелений, кристалічний фіолетовий, родамін [8, 9, 10].

Велику зацікавленість, з хімічної точки зору, представляють барвники акридінового ряду, а саме, акридіновий жовтий та його використання для визначення аніонних поверхнево-активних речовин в природних водах.

Викладення матеріалу та результати. Акридінові барвники – це похідні гетероциклічної сполуки акридину або 9-фенілакридину. Ці барвники містять в положенні 3 та 6 різні групи – OH, – NH₂, –SH та інші. Атом Нітрогену гетероциклу, відіграє роль другого замісника, підвищує колір акридінових барвників, в порівнянні з арилметановими барвниками.

Основним представником акридінового ряду є акридіновий жовтий.

Акридіновий жовтий (3,6-діаміно-2,7-диметилакридіна дигідрохлорид) – жовтий кристалічний порошок, розчинний у воді. Розчин його забарвлений в помаранчевий колір та має зелену флуоресценцію (рис.1).

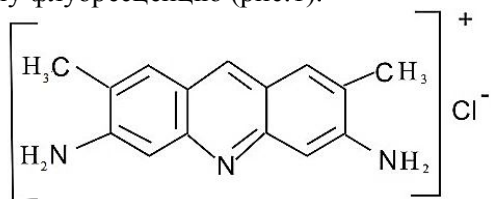


Рис. 1. Структурна формула акридінового жовтого

Акридіновий жовтий є слабкою основою, тому його молекули в лужному розчині не іонізовані. Іонізація настає тільки при зменшенні рН розчину шляхом додавання хлоридної кислоти.

Квантово-хімічне моделювання показало утворення іону акридину, в якого протон приєднується до

кільцевого атому Нітрогену (рис.2).

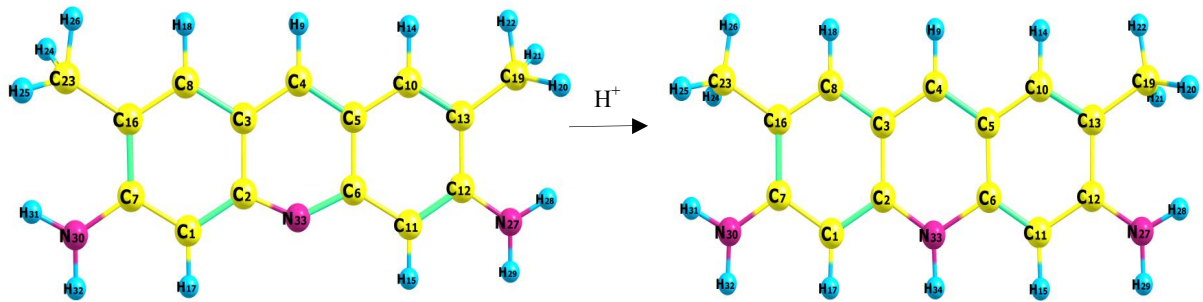


Рис.2. Оптимізовані структури акридінового жовтого

Таблиця 1
Між'ядерні відстані (Å) між атомом Нітрогену та Гідрогеном

№ атома	Між'ядерна відстань, Å
N ₂₇ -H ₂₈	1,0342
N ₂₇ -H ₂₉	1,0209
N ₃₀ -H ₃₁	1,0175
N ₃₀ -H ₃₂	1,0138
N ₃₃ -H ₃₄	1,0218

Про утворення хімічного зв'язку можна стверджувати на підставі між'ядерних відстаней (табл.1).

Як видно з наведеної таблиці відстані між атомом Нітрогену та атомом Гідрогену мають значення до 2Å, що вказує на утворенню міцного хімічного зв'язку між ними.

Вивчення впливу рН на водні розчини акридінового жовтого (рис. 3, 4) показало, що перехід від лужного до кислого середовища супроводжується зміною форми і розташуванням спектрів поглинання в сторону довгих хвиль (рис.5).

Враховуючи підібрані оптимальні умови, екстракційно-фотометричне дослідження аніонних поверхнево-активних речовин з акридіновим жовтим, проводили при рН 5,7-5,9 та $\lambda=440$ нм. Для вилучення утворених іонних асоціатів використовували хлороформ.

Для побудови градуовального графіку в ділительну лійку (50 см³) вносять натрію додецилсульфату (1 см³, 2...30 см³), 4 см³ дистильованої води, 1,0 см³ розчину хлороводню, 1 см³ акридінового жовтого та 5 см³ хлороформу і екстрагують протягом 1 хв. шляхом перевертання ділительної лійки. Екстракти зливають в кювету та вимірюють оптичну густина. Дослідження повторюють три рази і використовують середні значення оптичної густини (рис. 6).

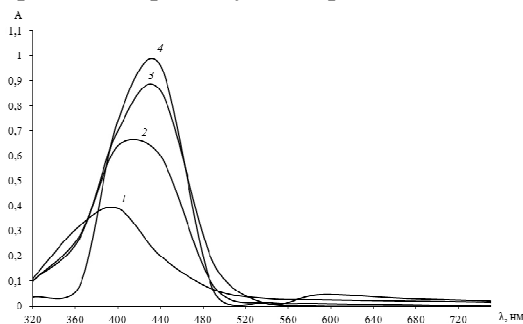


Рис. 3. Залежність оптичної густини від λ в лужному розчині акридінового жовтого: 1 – рН 11; 2 – рН 10; 3 – рН 9; 4 – рН 8

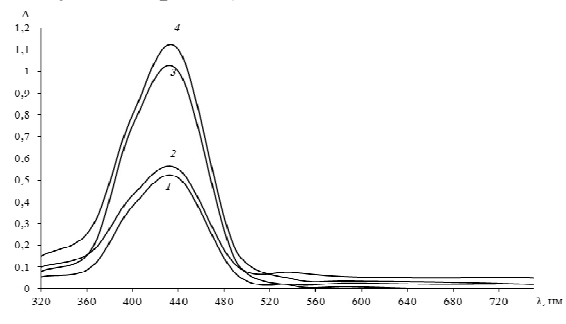


Рис. 4. Залежність оптичної густини від λ в кислому розчині акридінового жовтого: 1 – рН 4; 2 – рН 5; 3 – рН 7; 4 – рН 6

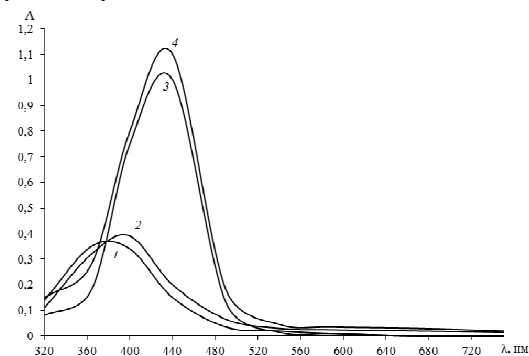


Рис. 5. Спектри поглинання акридінового жовтого при різних рН розчину: 1, 2 – лужне середовище; 3 – нейтральне середовище; 4 – кисле середовище

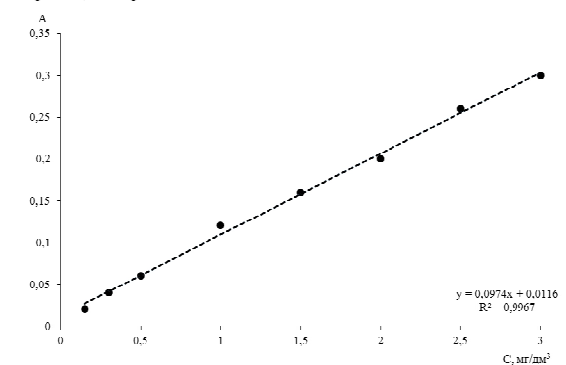


Рис. 6. Градуовальний графік для визначення аПАР з акридіновим жовтим

Даний метод був використаний для визначення аПАР в природних водах. Аналіз досліджуваної води: помішають в ділільну ліжку 5 см³ проби води та продовжують визначення, як вказано вище.

Як видно з рис. 6 градувальний графік для визначення аПАР має лінійну залежність та величина достовірності апроксимації дорівнює 0,9967. Визначена концентрація аПАР, за градувальним графіком, знаходиться в межах гранично допустимої концентрації аПАР у воді.

Таким чином, нами було встановлено, вплив рН на водні розчини акридінового жовтого. Підібрано оптимальні умови та визначено вміст аніонних поверхнево-активних речовин в природних водах з акридіновим барвником. Отримані результати дозволяють рекомендувати використання акридінового жовтого в якості нового реагента в екстракційно-фотометричному методі.

Список літератури

1. Часова Е.В. Характеристика влияния выбросов промышленных предприятий Кривого Рога на рабочих и население города / Е.В. Часова, Л.Д. Ермак, В.В. Івчук // Вісник Криворізького технічного університету, зб. Наукових праць. – вип. №20. – Кривий Ріг, 2008. – С.209-213.
- 2 Часова Е.В. Некоторые проблемы использования синтетических поверхностно-активных веществ и основные пути их решения / Е. В. Часова, В.В. Івчук // Качество минерального сырья. – 2014. – С. 198-205.
3. Часова Е.В. Влияние промышленных эмиссий предприятий Кривбасса на экологию региона // Е.В. Часова, Л.Д. Ермак, В.В. Івчук // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Экологические проблемы промышленных городов». – Саратов, 12-14 апреля 2011. – Ч.1. – С. 328-331.
4. Часова Е. В. Экологические проблемы Кривбасса – состояние и перспективы / Е. В. Часова, В.В. Івчук // Вісник Криворізького технічного університету, зб. Наукових праць. – вип. №30. – Кривий Ріг, 2012. – С.215-219
- 5 Яцик А.В. Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління: підручник для студентів вищих навч. закладів / А.В. Яцик. – К. : Генеза. – 2007. –360 с.
6. Алыков Н. М. Поверхностно-активные вещества и флокулянты в объектах окружающей среды. Методы концентрирования, определения и удаления : монография / Н. М. Алыков, Т. В. Алыкова, Е. Ю. Шачнева. – Астрахань, 2011. – 107с
7. Лугова Л.Р. Сучасний стан методів контролю вмісту поверхнево-активних речовин у стічних водах // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ, 2000. – С.182-186.
8. Перевошикова Н.Б. Количественное определение поверхностно-активных веществ различной природы в водных растворах / Н.Б. Перевошикова, Ю.А. Азиатцев // Вестник Удмуртского университета. Физика. Химия. – 2010. – Вып.2. – С. 54-65
9. Лурье Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю.Ю. Лурье – М. : Химия, 1984. – 447с.
10. Часова Е. В. Кількісне визначення аніонних поверхнево-активних речовин у стічних водах / Е. В. Часова, О. В. Демчишина // Науковий журнал «Молодий вчений». – 2017. – №10(50). – С. 10-12.
11. M.W.Schmidt. General Atomic and Molecular Electronic Structure System / M.W.Schmidt, K.K. Baldrige, J.A. Boatz, S.T. Elbert, M.S. Gordon and others // J.Comput.Chem. – 1993. – Т. 14. – С. 1347-1363.

Рукопис подано до редакції 07.05.2018

УДК 622.016.52:622.34

В.О. КАЛІНІЧЕНКО, д-р техн.наук, проф., С.В. ПИСЬМЕННИЙ,
Д.В. БРОВКО, кандидати техн.наук, доценти, О.В. КАЛІНІЧЕНКО, канд.екон.наук, доц.
Криворізький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ШТУЧНИХ СПОРУД ПРИ РОЗРОБЦІ ЗАЛІЗНИХ РУД

Мета. Метою даної роботи є моделювання очисних камер різної форми на еквівалентних матеріалах при підземній розробці залізних руд Криворізького залізрудного басейну. З пониженням гірничих робіт навколо очисних камер зростає гірський тиск, який призводить до їх часткового обвалення, а як наслідок зниження вмісту корисного компоненту в видобутій рудній масі. Теоретичними дослідженнями доведено, що очисні камери параболічної форми є більш стійкими у порівнянні з камерами прямокутної форми, але лабораторним дослідженням приділено не було достатньої уваги, щоб підтвердити дану теорію.

Методи дослідження. В процесі моделювання застосовували комплексний метод досліджень, який полягав з аналітичного визначення параметрів очисних камер та лабораторне моделювання з застосуванням еквівалентних матеріалів. Суттєвою відмінністю даних досліджень є те, що при виготовленні еквівалентного матеріалу враховували масштаб фактору часу.

Наукова новизна. Встановлено, що очисна камера параболічної форми у порівнянні з прямокутними збільшує свою стійкість в 1,1-1,5 рази. При цьому, на стійкість камери параболічної форми суттєво впливають радіуси вертикального та горизонтального оголень, які залежать від фізико-механічних властивостей гірського масиву.

Практична значимість. Для зменшення засмічення руди при її випуску з очисних камер, що призведе до підвищення вмісту корисного компонента в рудній масі, очисні камери доцільно формувати не прямокутної форми, а у вигляді параболи. Формування очисних камер параболічної форми при відпрацюванні магнетитових кварцитів дозволить зменшити ширину міжкамерних ціликів.

Результати. В лабораторних умовах на моделях з використанням еквівалентного матеріалу досліджували як впливає термін існування на стійкість очисних камер прямокутної, шатрової та склепистої форм. За результатами лабораторних досліджень встановлено, що раціональна форма очисної камери з умови її стійкості та терміну існування є параболічна. Достовірність результатів моделювання підтверджується високою збіжністю отриманих значень.

Ключові слова: очисна камера, стійкість, термін існування, моделювання, еквівалентний матеріал, підземна розробка, радіус оголення.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-39-44

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Розробка родовищ природно-бідних та природно-багатих залізних руд Криворізького басейну на даний час здійснюється відкритим і підземним способами. В умовах діючих залізрудних підприємств з підземним способом розробки загальна кількість балансових запасів багатих руд складає 1,5 млрд.т, а бідних руд понад 5,0 млрд.т. Для успішного функціонування підземних гірничих підприємств з видобутку залізних руд необхідно виконати модернізацію та технічне переоснащення комплексів підйому, вентиляції, водовідливу, а також переглянути існуючі способи видобутку корисних копалин [1].

На теперішній час на шахтах Кривбасу при розробці залізних руд застосовуються системи з масовим обваленням та з відкритим очисним простором, які призводять до зсуву земної поверхні, а з пониженням гірничих робіт відповідно й її площі. Подальше застосування даних систем розробки на значних глибинах (понад 1700 м) неминуче призведе до суттєвого збільшення собівартості видобутку, зниження вмісту корисного компонента в видобутій рудній масі.

Для збереження земної поверхні та підвищення вмісту корисного компонента в видобутій руді необхідно застосовувати систему розробки з закладкою виробленого простору. Але, собівартість видобутку від застосування даної системи розробки не зміниться, до того ж зменшиться річна продуктивність в 1,2-1,5 разів.

Зменшити собівартість видобутку та збільшити вміст заліза в видобутій рудній масі можливо за рахунок застосування камерних систем розробки. При застосуванні камерних систем розробки особливо в умовах прояву гірського тиску необхідно очисним камерам забезпечити додаткову стійкість [2].

Аналіз досліджень і публікацій. Криворізький залізрудний басейн складається комплексом кристалічних порід залізистої формації, які залягають серед гранітів вузькою смугою метаморфічних порід, витягнутих з півдня на північ в субмеридіальному напрямку, протяжністю понад 100 км і є складовою частиною Криворізько-Кременчугської структурно-фаціальної зони. Комплекс порід Криворізької серії зім'ятий в складки меридіонального простягання і утворює велику складчасту структуру, яка складається з наступних серій свит: Новокриворізька (*Nk*), Сकेловатська (*Sk*), Саксаганська (*Sx*), Гданцівська (*Gd*) та Глеєватська (*Gl*) [3].

Основною рудоносною товщею, що розробляється підземним способом є Саксаганська свита (*PR₁Sx*), яка представлена сім'ю сланцевими та сім'ю залізистими пластами, які чергуються між собою. Залізисті пласти складені мартитовими, гетит-гематит-мартитовими, силікат-карбонат-магнетитовими, магнетитовими, силікат-магнетитовими та іншими рудами потужністю від 4 до 150 м та з середнім вмістом заліза 58-62% та бідних руд (магнетитових кварцитів) - 26-35% [4].

В Криворізькому залізрудному басейні на теперішній час успішно функціонують 7 гірничо-видобувних підприємств, з них: 5 – з відкритим способом розробки і 4 – з підземним. У межах діючих підприємств зосереджено понад 8,7 млрд. т балансових запасів багатих і бідних руд, які доцільно розробляти існуючими способами [5]. Але при розробці запасів біля

7,6 млрд.т необхідно: удосконалити технологію видобутку з підземним способом; перехід на комбіновану відкрито-підземну розробку при видобутку бідних руд відкритим способом; будівництво другого ступеню розкриття при розробці багатих руд підземним способом [6].

Запасів залізистих кварцитів в межах діючих підприємств з відкритим та підземним способами складають біля 10,8 млрд. т, у тому числі балансових запасів нараховується понад 7,65 млрд. т. Відробку 3,2 млрд. т запасів магнетитових кварцитів, які не доцільно розробляти на теперішній час відкритим способом, доцільно відпрацьовувати комбінованою відкрито-підземною розробкою, що дозволить гірничим підприємствам подовжити свою роботу ще на 50-100 років. Балансові запаси багатих залізних руд, підраховані до глибини 1500-2100 м, становлять понад 5,6 млрд.т, у тому числі промислових категорій – 1,13 млрд.т. Неосвоєними з цих запасів, є лише Східно-Скелюватська ділянка та частина родовищ НкГЗК, яка виступає охоронним ціликом річки Інгулець.

Шахтні поля Криворізького басейну мають неоднакову забезпеченість запасами багатих залізних руд. Протягом найближчих 30 років шахти південної групи допрацюють свої запаси, в той час як деякі рудники північної групи працюватимуть більше 30 років. Зі збільшенням глибини розробки значною мірою погіршуються геологічні та гірничотехнічні умови; зменшуються запаси багатих руд; знижується якість залізної руди, підвищується гірський тиск, що викликає збільшення трудових і матеріальних витрат, значно збільшуються витрати на додаткову проходку виробок, підземний транспорт, вентиляцію, водовідлив, шахтний підйом та ін [4, 5].

Загальні прогнозні запаси залізистих кварцитів тільки в полях діючих шахт та в міжрудникових ділянках Саксаганської світи становлять близько 43,0 млрд т, у тому числі магнетитових кварцитів близько – 14,68 млрд. т (з бортовим вмістом заліза магнетитового 20%). У полях діючих шахт магнетитові кварцити залягають, в основному, в лежачому боці покладів багатих руд і в окремих випадках, наприклад, на шахтах "Ювілейна, "Гвардійська" та ім. Леніна - в одних стратиграфічних горизонтах.

Одним із заходів щодо збільшення запасів залізородної сировини та термінів забезпеченості ними рудників є залучення у видобуток підземним способом магнетитових кварцитів, що залягають у полях діючих шахт і в проміжках між ними з подальшим їх збагаченням. Для видобутку магнетитових кварцитів в полях існуючих шахт, де є резерви підйомних можливостей, достатньо пройти додаткові відкотні виробки від існуючих і нині вже не використовуваних квершлагів, оскільки видобуток цих кварцитів може бути розпочато з глибини нижче зони окислення [7].

Слід враховувати те, що діючі стволи шахт перетинають товщу магнетитових кварцитів, а поверхня в районі їх розташування густо забудована технологічними комплексами шахт, під'їзними залізничними коліями та шляхами Придніпровської залізниці, житловими та соціально-культурними об'єктами. У разі відпрацювання магнетитових кварцитів відкритим або підземним способом системами з масовим обваленням руди та денної поверхні, зазначені вище об'єкти на поверхні необхідно перенести на інші ділянки.

Постановка завдання. Таким чином, альтернативною системою розробки при відпрацюванні залізних руд і магнетитових кварцитів є камерна система з заходами щодо забезпечення додаткової стійкості очисним камерам. Тому, необхідно вирішити актуальне питання щодо підземної розробки запасів Криворізького залізородного басейну шляхом обґрунтування форми очисної камери, що дозволить збільшити строк її існування та забезпечити високі показники вилучення.

Викладення матеріалу та результати. Для визначення стійких параметрів очисної камери різних форм використовуємо фізичне моделювання з використанням еквівалентних матеріалів на стаціонарних моделях. Аналіз методів моделювання, заснованих на теорії подібності [8-10], приводить до висновку, що для моделювання на статичних моделях необхідно дотримуватись масштаб моделювання. Усі розміри досліджуваної системи в натурі й розміри її в моделі будуть змінені у певну кількість разів. Масштаб моделювання C_l визначається з виразу

$$l'_n / l'_m = l''_n / l''_m = \dots = l^i_n / l^i_m = C_l, \quad (1)$$

де l_m, l_n – лінійні розміри відповідно у моделі й натурі.

При моделюванні необхідно дотримання початкового стану системи й подібності умов на границях. Перше (початковий стан системи) досягається дотриманням масштабу моделювання,

коефіцієнта розрихлення матеріалу моделі й природи. Друге (умова подоби на границях) – дотримання коефіцієнта тертя на контактах матеріалу зі стінками моделі. Для цього збільшують шорсткість стінок моделі. Кращим способом досягти відповідності граничних умов є наклеювання матеріалу, що моделюється, на стінки моделі. Але при моделюванні дотримання всіх критеріїв подібності, які забезпечать подібність механічних процесів, неможливо, тому необхідно виділити й забезпечити пропорційність фізичних констант, що мають вирішальне значення для досліджуваного явища [10-12].

Тому одними з головних критеріїв подібності є фізико механічні властивості руди й породи, які моделюються, та геометричні розміри об'єктів, що досліджуються. Для визначення зсуву порід, а так само навантажень, тиску, які виникають у процесі переміщення гірського масиву, необхідно дотримуватись динамічної подібності. При цьому повинна бути дотримана умова стійкості матеріалів

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \rho + c, \quad (2)$$

де τ – дотичне напруження на заданій площині, т/м^2 ; σ_n – нормальне напруження на заданій площині, т/м^2 ; ρ – кут внутрішнього тертя корисної копалини, град.; c – зчеплення порід.

Основною умовою динамічної подоби є дотримання куту внутрішнього тертя корисної копалини та зчеплення порід, що можливо досягти тільки прикладенням на модель зовнішнього навантаження. Розрахунок зовнішнього навантаження P_m , яке необхідно прикласти при моделюванні, визначають за формулою, запропонованою Кузнецовим Г.Н. [11]

$$P_m = (P_n l_n^3 \gamma_n) / (l_m^3 \gamma_m), \quad (3)$$

де P_m, P_n – зовнішнє навантаження відповідно в моделі й природі, т/м^2 ; γ_n, γ_m – об'ємна вага руди відповідно у природі й моделі, т/м^3 .

Можливість застосування виразу (3) можливо обґрунтувати тим, що масштаб моделювання виконується тільки для лінійних розмірів моделі й не відповідає в повному обсязі для гранулометричного складу. Коефіцієнти й кути опору руху руди визначалися за методикою [12]. Коефіцієнт опору у цьому випадку визначається за різницею дії сил ваги й сил опору зразку за формулою

$$f = (l_1 \sin \alpha) / (l_1 \cos \alpha + l_2) = h/L = \operatorname{tg} \varphi, \quad (4)$$

де l_1 – довжина похилої площини, м; l_2 – довжина горизонтальної ділянки шляху, що проходять зразки породи по інерції, м; α – кут нахилу площини, град; h – висота скочування зразка, м; L – проекція сумарного шляху, пройденого зразками на горизонтальну площину, м; φ – кут опору руху, град.

Величина f і φ визначалися для окремих зразків руди (породи) різного гранулометричного складу, для суміші зразків одного розміру, а також для сумішей зразків різного гранулометричного складу. В результаті отриманих даних в процесі лабораторних досліджень побудовані залежності зміни складу еквівалентного матеріалу для отримання наступних параметрів: межі міцності на стискання; модуля пружності та коефіцієнта Пуассона

Після ув'язування всіх перерахованих факторів, масштаб моделювання приймаємо 1:100, при цьому підбір еквівалентних матеріалів виконується на підставі теорії подібності з урахуванням необхідних встановлених значень, рис. 1.

Тимчасовий опір досліджуваних зразків на стискання виконували відповідно до прийнятого міжнародного стандарту для визначення міцності порід при одноосьовому стиску. Тимчасовий опір досліджуваних зразків визначається за формулою

$$G_{cm} = P/S, \quad (5)$$

де P – руйнівне навантаження, Н; S – площа поперечного перерізу зразка, м^2 .

В лабораторних умовах були проведені дослідження по стійкості камер різної форми: прямокутної та параболічної. При проведенні дослідів, гірський масив замінюється еквівалентним матеріалом. Геометричний масштаб моделювання був прийнятий 1: 100, а масштаб часу становив 1:10. Еквівалент-

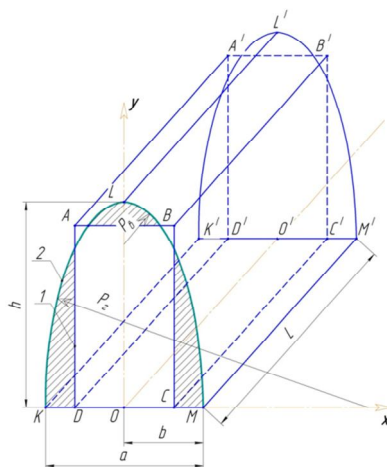


Рис. 1. Розрахункова схема до визначення об'єму камери параболічної та прямокутної форм

ний матеріал з урахуванням масштабу моделювання підбирався згідно фізико-механічним властивостям гірських порід ш. «Октябрьська» ПАТ «Кривбасзалізрудком».

Об'єм камери параболічної форми визначається за формулою [13]

$$V = 2L \cdot \int_0^b \left(2 \cdot \sqrt[3]{\frac{\sigma_3^2}{[\sigma_{cm}]}} \right) \cdot \sqrt[4]{\left(1 \pm x^2 dx / 4\sigma_3 \cdot \sqrt[3]{\frac{\sigma_3^2 \cos \beta \operatorname{tg} \rho}{[\sigma_{cm}]^2}} \right)^3}, \quad (6)$$

де V – об'єм камери параболічної форми, м^3 ; L – довжина камери, м ; σ_3 – головні вертикальні напруження, т/м^2 ; $[\sigma_{cm}]$ – межа міцності порід на стискання, т/м^2 ; β – кут зсуву гірських порід, град.; ρ – кут внутрішнього тертя гірських порід, град.

Ширина камери вертикальної форми визначалась виходячи з об'єму камери параболічної форми (6) з виразу

$$a_g = V / (L \cdot (h_g - h_{cm})), \quad (7)$$

де h_g – висота виймального блоку (приймалась 90 м), м ; h_{cm} – товщина стелини, м .

Ширина камери горизонтальної форми розраховувалась з урахуванням (6) за формулою

$$a_z = V / (L h_z), \quad (8)$$

де h_z – висота камери горизонтальної форми (приймається 30 м), м .

Всього було проведено 8 серій лабораторних експериментів, які відрізняються між собою: формою очисної камери і межею міцності на одноосовий стиск. Кожен досвід повторювався 3-5 разів. Надійність отриманих результатів при моделюванні на еквівалентних матеріалах за теоремою множення ймовірностей незалежних подій. Згідно виконаним розрахунками вертикальний та горизонтальний тиск в моделі приймався відповідно 13,2 і 6,4 кг/см^2 . Радіус склепіння у верхній частині очисної камери визначався за умовою стійкої граничної рівноваги на будь-якому майданчику згідно закону Кулона розраховували за формулою [14, 15]

$$P_g = \sqrt{\sigma_3 / (\cos \beta \operatorname{tg} \rho)}, \quad P_z = \sigma_3 \cos \beta \operatorname{tg} \rho / [\sigma_{cm}], \quad (9)$$

де P_z, P_g – радіуси максимально допустимого стійкого криволінійного оголення відповідно горизонтальної і вертикальної кривих, якими описується камера параболічної форми, м .

Висота камери параболічної форми визначалась за формулою [16]

$$h = 2 \cdot \sqrt[3]{P_z \cdot P_g^2}. \quad (10)$$

В лабораторну модель заочувався еквівалентний матеріал, який навантажували зовнішнім навантаженням визначеної з формули (3) з урахуванням масштабу моделювання (1). Через 3 доби, з боку задньої стінки вирізали еквівалентний матеріал об'ємом 45000 см^3 , створюючи необхідну форму очисної камери і об'єм, а далі протягом 36 діб (що відповідає 12 міс. в натурі) спостерігали за поведінкою моделі. Результати моделювання стійкості очисних камери протягом їх існування від 12 діб (4 міс.) до 36 діб (12 міс.) приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати моделювання стійкості очисних камер

Міцність руди за шкалою М.М. Протождяконова	Об'єм очисної камери після її існування, діб (міс)				
	12 (4)	18 (6)	24 (8)	30 (10)	36 (12)
очисна камера вертикальної форми					
8	45000	47000	58000	62000	68000
10	45000	45000	47000	55000	66000
12	45000	45000	45000	47000	64000
очисна камера горизонтальної форми					
8	48000	55000	67000	73000	80000
10	46000	54000	66000	72000	78000
12	45000	50000	64000	70000	76000
очисна камера параболічної форми					
8	45000	45000	45000	45000	45000
10	45000	45000	45000	45000	45000
12	45000	45000	45000	45000	45000

Після 15 діб спостерігалось сколювання еквівалентного матеріалу у верхній частині очисної камери прямокутної форми, та надання їй у верхній частині склепінної форми. Зі збільшенням часу її існування до 36 діб. форма компенсаційної камери приймає вигляд еліпсоїду, що підтверджують дослідження виконані Куликовим. Слід зазначити, що при зменшенні міцності гірського масиву з 12 до 8, об'єм камери збільшився відповідно в 1,3-1,5 рази. Після 18-30 діб існування очисної камери спостерігається сколювання еквівалентного матеріалу не тільки у верхній частині, а й з боку її боків.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Проведеними лабораторними дослідженнями встановлено, що при відпрацюванні запасів сформовані в масиві камери прямокутної форми будуть зруйновані протягом 6 міс. Через 1,5 міс. відбувається незначне сколювання в середній частині вертикального цілика висячого боку. Після чого відбувається інтенсивне розшарування ціликів і після 16-17 міс. повне їх руйнування.

Очисна камера склепінної форми зберігає свою стійкість, а її руйнування відбувається лише у верхній її частині. Лабораторними дослідженнями встановлено, що руйнівна сила, що діє з боків очисної камери, буде мінімальною. Формування очисної камери параболічної форми підвищує стійкість камери без порушення еквівалентного матеріалу по її периметру.

Список літератури

1. **Ступник Н.И.** Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды / **Н.И. Ступник, С.В. Письменный** // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – № 30. – С. 3-7.
2. **Гирин В.С.** Пути совершенствования качества металлургического сырья на шахтах Кривбасса / **В.С.Гирин, Н.К.Кравцов, В.А.Витряк** // Разраб.рудн.месторожд. – Кривой Рог: КТУ. – 2000. – Вып. 70. – С. 10-13.
3. Горная энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1987., Т.3, с. 372-373.
4. **Ржевский В.В.** Физико-технические параметры горных пород. – М.: Наука, 1975.
5. **Колосов В.А.** Современное состояние и перспективы развития предприятий по добыче и переработке железорудного и флюсового сырья в Украине / **В.А.Колосов, В.П.Воловик, Н.И.Дядечкин** // Горн.журн. – 2000. – №6. – С. 162-168.
6. **Андреев Б.Н.** Перспективы поддержания производственных мощностей шахт и карьеров Кривбасса / **Б.Н.Андреев, С.В.Письменный, Д.В.Бровко** // БНТУ. – Минск. – 2013. – С.115-120.
7. **Ступник М.І.** Комбіновані способи подальшої розробки залізорудних родовищ Криворізького басейну / **М.І.Ступник, С.В.Письменный** // Гірничий вісник: науково-технічний збірник. Кривий Ріг, 2012.–Вип. 95(1).– С. 3-7.
8. **Именитов В.Р.** Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. Учебное пособие для вузов, 3-е изд., пераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 504 с.
9. **Мартынов В.К., Кудрявцев М.С., Зайцев Н.М. и др.** К вопросу о переносе результатов моделирования выпуска руды на натуру // Разраб. рудн. месторождений. – К.: Техніка. – 1970. – Вып. 10. – С. 13.
10. **Куликов В.В.** Выпуск руды. – М.: Недра, 1980. – 303 с.
11. **Насонов И.Д.** Моделирование горных процессов. – М.: Недра, 1978. – 256 с.
12. **Корж В.А.** Эквивалентные параметры кусков обрушенной руды в блоке // Разраб. рудн. месторожд. – Кривой Рог: КТУ, 1996. – № 59. – С. 52-59.
13. **Письменный С.В.** Моделирование стійкої форми очисної камери при розробці магнетитових кварцитів Криворізького залізорудного басейну / **С.В. Письменный, О.Б. Томашевський** // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг. – 2015. – № 40. – С. 98-103.
14. **Письменный С.В.** Методика визначення активної зони склепоутворення на контурі підземно-транспортної виробки при комбінованій розробці залізорудних родовищ / **С.В. Письменный** // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. –Х.: НТУ "ХПІ", 2017. - № 16 (1238). – С. 99-106.
15. **Ступник Н.И.** Разработка рекомендаций по выбору типа крепления горных выработок и сопряжений в условиях урановых шахт ГП "ВОСТГОК" / **Н.И. Ступник, М.Б. Федько, В.А. Колосов, С.В. Письменный** // Научный вестник НГУ. – 2014. – № 5. – С.21-25.
16. **Ступник Н.И.** Исследование формы поперечного сечения подземных выработок при комбинированной отработке месторождений / **Н.И. Ступник, Б.Н. Андреев, С.В. Письменный** // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук.праць. – Кривий Ріг. – 2012. – Вип. 32. – С. 3-6.

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

**ТЕПЛОВІ РЕЖИМИ СИЛОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПРИ
КЕРУВАННІ АСИНХРОННИМ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ**

Мета. Метою статті є визначення теплових режимів силових елементів перетворювача з урахуванням режимів роботи асинхронного електродвигуна і технічних вимог, що пред'являються до керування електроприводу робочого механізму. Розробити методіку для визначення температури нагріву силових напівпровідникових елементів, що входять до складу перетворювача, при різних режимах роботи асинхронного електродвигуна та виконати моделювання його роботи асинхронного електродвигуна і перевірити експериментально отримані результати на адекватність.

Методи дослідження. Дається метод аналітичних розрахунків і фізичне моделювання теплових режимів силових елементів перетворювачів з урахуванням їх параметрів, номінального, пускового та гальмівного режимів роботи електродвигуна та електроприводу. Основним критерієм для розрахунку теплових режимів силових елементів перетворювача, який визначає граничне значення робочих параметрів силових резисторів і тиристорів резисторно-тиристорних модулів, є температура р-п переходу тиристора. Якщо значення цієї температури не перевищить максимально допустиму температуру напівпровідникової структури тиристора, він забезпечить надійну роботу керованого ним асинхронного електродвигуна.

Наукова новизна. Уперше запропоновано інженерну методіку для визначення температури нагріву силових напівпровідникових елементів при різних режимах роботи асинхронного електродвигуна і електроприводу. Для систематизованого аналізу та отримання раціональних варіантів силових схем перетворювачів використано узагальнену схему управління асинхронним двигуном та її математичний опис. На основі розробленої інженерної методіки узагальнена схема доповнена підпрограмою для розрахунку теплових параметрів силових напівпровідникових елементів перетворювачів. Це дало можливість ефективно використовувати при проведенні досліджень ЕОМ.

Практична значимість. У роботі виконано моделювання на ЕОМ роботи асинхронного електродвигуна при визначенні теплових характеристики силових елементів перетворювача і перевірено експериментально отримані результати на адекватність та встановлено, якщо знизити робочу температуру структури напівпровідникового приладу на 15 %, то інтенсивність відмов знизиться в два рази.

Результати. Визначено, що основним критерієм для вибору типу перетворювача для управління асинхронним електродвигуном є температура переходу силових напівпровідникових елементів. Значення цієї температури не повинно перевищувати гранично-допустиму температуру на переході напівпровідникового елемента. Запропоновано математичні вирази для визначення температури нагріву силових напівпровідникових елементів, що входять до складу перетворювача, при різних режимах роботи асинхронного електродвигуна. Інженерна методіка для аналітичного розрахунку теплових параметрів напівпровідникових елементів із достатньою точністю (не більше 10%) дає можливість визначити тепловий режим напівпровідникових елементах перетворювачів залежно від режиму роботи електроприводу робочого механізму та обчислити максимальну - допустиму температуру в інтервалі робочого циклу. Отримані результати аналітичного розрахунку теплових режимів резисторів та тиристорного перетворювача, підтверджені експериментальними дослідженнями. Інженерна методіка і експериментальні дослідження можуть бути використані при проектуванні та експлуатації перетворювачів для керування асинхронними електродвигунами в структурі електроприводів загальнопромислового використання.

Ключові слова: асинхронний електродвигун, перетворювач, силові елементи, резисторно-тиристорні модулі, тепловий режим, розрахунки.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-44-50

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На сьогоднішній день серед найбільш актуальних проблем на підприємствах є збільшення кількості завдань щодо більш раціонального використання робочого механізму (РМ). Тому одні розробники займаються удосконаленням конструкцій РМ, що дозволяють підвищити їх продуктивність і надійність роботи при зниженні масо-габаритних розмірів і енергоспоживання, а інші для досягнення тієї ж мети вдосконаляють автоматизовані системи управління [1]. Управління РМ найчастіше полягає в забезпеченні пускових і гальмівних режимів електродвигунів, що приводять у дію тягові органи РМ. Однак сучасний автоматизований електропривод РМ - це регульований електропривод, в яких використовуються асинхронні електродвигуни (АД) із короткозамкненим або фазним ротором, керовані різними типами перетворювачами, в силових ланцюгах яких застосовуються безконтактні силові елементи: діоди, тиристори, симистори, тощо. До перетворювачів, що керують АД у складі електроприводу РМ, пред'являються також все більш високі вимоги щодо забезпечення швидкодії, точності, отримання максимальної частоти включення і надійності його роботи. При забезпеченні цих показників важливу роль відіграє тепловий режим

силових напівпровідникових елементів перетворювачів (СЕР), обумовлений завантаженням цих елементів по струму. Ступінь нагріву СЕР значно залежить від режиму РМ і відповідно роботи АД (тривалий, повторно-короткочасний, короткочасний). Особливо небезпечними є перехідні режими під час виконання пуско-гальмових режимів АД, і відповідно перетворювача, при яких нагрітий СЕР зі зниженими граничними значеннями параметрів отримує тепловий удар. Згідно досліджень [2,3], майже 60% виходів з ладу СЕР пристроїв перетворювальної техніки пов'язані з перегрівом. Для того, щоб забезпечити безаварійність роботи СЕР перетворювача, необхідно визначити допустимі значення параметрів теплових режимів роботи. У зв'язку з цим завдання дослідження теплових режимів СЕР із урахуванням режиму роботи АД і РМ мають актуальне значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У дослідженні [4] показано, що внаслідок значного теплового опору між кристалом та корпусом та малої теплової ємності кристалів спостерігається сплеск температури переходів напівпровідника. Під час пуску перетворювача, при повторно-короткочасних або гальмових режимах роботи АД температура кристалу напівпровідникового СЕР, що використовується у перетворювачі, може суттєво перевищувати температуру на корпусі [5], яку в інженерних розрахунках практично не враховують. СЕР не можуть протистояти струмам, що виникають при короткому замиканні [6]. Тому для перетворювачів, що мають високі показники перегріву і працюють в екстремальних режимах роботи, дослідники пропонують розраховувати максимальний час безперервної роботи, а також час повторного ввімкнення, щоб при вмиканні пристрою СЕР не були нагрітими [7]. В таких режимах роботи СЕР з певним навантаженням повинні чергуватися з паузами.

При дослідженні режимів пуску і гальмування АД із вибраним типом перетворювача з успіхом використовують ЕОМ [8-10]. Проте при моделюванні не враховується ступінь нагріву СЕР перетворювачів. В той же час у роботі [11] у програмному середовищі LABVIEW визначаються характеристики СЕР у стані низької провідності, але модель не враховує режими роботи перетворювача. У роботах [12] і [13] автори відповідно пропонують методики для аналізу теплової деградації напівпровідникових приладів при впливі електромагнітних випромінювань різної форми на основі об'ємної теплової моделі та розрахунку температури напівпровідникової структури СЕР в умовах їх роботи в комутаційних при дії на них короткочасних імпульсів потужності довільної форми. Відома також методика розрахунку, що дозволяє визначити наступні важливі параметри та елементи напівпровідникових апаратів: номінальний струм, номінальний робочий струм, типи тиристорів, циклостійкість цих тиристорів, а також перевантажувальну спроможність за струмом апарата [14]. Однак робота перетворювача при різних режимах роботи АД з урахуванням температурного режиму СЕР у відомих дослідженнях не розглядається. Одним із шляхів усунення цих недоліків є аналіз існуючих у вітчизняній та зарубіжній практиці різних варіантів силових схем перетворювачів із використанням експериментальних досліджень. Однак, цей шлях, як відомо не дає однозначної відповіді на це завдання. Проте такий аналіз може привести до невірних результатів, оскільки застосування тієї чи іншої силової схеми визначається технічними та економічними умовами стосовно роботи перетворювача, АД і РМ [15,16].

Постановка завдання. Метою статті визначення теплових режимів силових елементів перетворювача з урахуванням режимів роботи асинхронного електродвигуна и технічних вимог, що пред'являються до керування електроприводу робочого механізму. Це дозволить впливати на вибір типу перетворювача для управління асинхронним електродвигуном. Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

розробити методику для визначення температури нагріву силових напівпровідникових елементів, що входять до складу перетворювача, при різних режимах роботи асинхронного електродвигуна;

виконати моделювання роботи асинхронного електродвигуна і перевірити експериментально отримані результати на адекватність.

Викладення матеріалу та результати. Для систематизованого аналізу та отримання раціональних варіантів силових схем перетворювачів використаємо узагальнену (загальну) схему управління асинхронним двигуном та її математичний опис, який доповнений підпрограмою розрахунку теплових параметрів СЕР та ефективно використовувати при проведенні досліджень ЕОМ [17]. Основним критерієм для вибору перетворювача у вказаній підпрограмі, що

визначає граничне значення робочих параметрів СЕП, є температура переходу силових напівпровідникових елементів. Значення цієї температури не повинно перевищувати гранично-допустиму температуру на переході напівпровідникового елемента. До граничне значень робочих параметрів СЕП (діодів, тиристорів, симисторів), які необхідно контролювати, відносяться: максимально допустимий середній струм при певній температурі; ударний струм короткого замикання, максимально допустима амплітуда прямого струму тривалістю 10 мс, при роботі у режимі перевантаження під час аварії, це струм, внаслідок якого температура виходить за рамки максимально допустимої, захисний показник $\int i^2 dt$ – значення інтегралу квадрату ударного струму по часу; максимальне значення імпульсної напруги; напруга пробою активних елементів; час вмикання/вимикання активних елементів [16]. Використання узагальнена схема управління АД дозволяє врахувати граничні значення робочих параметрів СЕП, що входять у перетворювач, створити загальний алгоритм управління і ефективно використовувати аналітичні методи розрахунку для вибору силової схеми перетворювача в залежності від технічних умов, що пред'являються до роботи робочого механізму.

У підпрограму розрахунку теплових параметрів СЕП, що входить до узагальненої схеми управління асинхронним двигуном, покладена інженерна методика, яка заключається у наступному. Для пояснення цієї методики розглянемо приклад використання для управління АД перетворювача, до складу якого входять комутатори з резисторно-тиристорними модулями (РТМ). Основним критерієм, що визначає граничне значення робочих параметрів РТМ, є температура переходу силових елементів, що входять у РТМ. Якщо значення цієї температури не перевищує гранично-допустиму температуру напівпровідникової структури, то перетворювач забезпечить роботу АД, керованого ним.

Загальний час роботи АД у складі електропривода РМ, тай час роботи РТМ, визначається сумою часів пуску - t_n , тривалістю роботи - $t_{роб}$ і гальмування - t_z

$$t_p = t_n + t_{роб} + t_z. \quad (1)$$

Тривалість включення АД або РТМ із рівняння (1), визначається так

$$E = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де t_0 - час паузи (зупинки).

При заданому числі включень електропривода РМ в час (N) загальна тривалість циклу дорівнює

$$t_u = t_p + t_0 = \frac{3600}{N}. \quad (3)$$

Тоді тривалість роботи комутатора та відповідно елементів РТМ

$$t_p = \frac{3600 E \%}{N}. \quad (4)$$

При роботі АД притаманні кратності пускових і гальмівних струмів, що відповідно дорівнюють

$$K_{II} = \frac{I_{II}}{I_H}; K_z = \frac{I_z}{I_H}, \quad (5)$$

де I_H , I_{II} , I_z - відповідно номінальний, пусковий і гальмівний струми.

Середні значення струму, що протікає через СЕП перетворювача із урахуванням (1-5), визначається таким чином

$$I_{cp} = \frac{N \cdot I_H}{3600} \left[t_n (K_{II} - 1) + t_z (K_z - 1) + \frac{3600 E \%}{N} \right]. \quad (6)$$

Використовуючи середнє значення струму I_{cp} , визначаємо середнє значення потужності втрат на СЕП, яка дорівнює сумі основних $\Delta P_{осн}$ і додаткових $\Delta P_{дон}$ втрат

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{осн} + \Delta P_{дон}. \quad (7)$$

У виразі (7) основні втрати з урахуванням (6) визначаємо за формулою [18]

$$\Delta P_{осн} = U_0 I_{cp} + K_{\phi}^2 I_{cp}^2 R_{д}, \quad (8)$$

де K_ϕ - коефіцієнт форми струму, U_0 ; R_d - порогова напруга і динамічний опір граничної прямої вольт-амперної силового напівпровідникового елемента перетворювача.

Додаткові втрати у (7) складаються із середніх потужностей управління, зворотного струму, при включенні та виключенні РТМ, тощо. Тоді сумарні втрати із урахуванням (8) визначаються виразом

$$\Delta P_\Sigma = \frac{U_0 N I_H}{3600} \left[t_{II} (K_{II} - 1) + t_T (K_T - 1) + \frac{36 ПВ\%}{N} \right] + K_\phi^2 R_d \left\{ \frac{N \cdot I_H}{3600} \left[t_{II} (K_{II} - 1) + t_T (K_T - 1) + \frac{36 ПВ\%}{N} \right] \right\}^2. \quad (9)$$

Знаючи середнє значення потужності, можна визначити дійсне значення температури із урахуванням режиму робіт АД

$$Q_p = Q_c + r_T \Delta P_\Sigma, \quad (10)$$

де Q_c - температура зовнішнього середовища; r_T - внутрішній перехідний тепловий опір напівпровідникового елемента РТМ.

Представляючи отриманий вище вираз (9), отримаємо

$$Q_p = Q_c + \frac{r_T U_0 N I_H}{3600} \left[t_{II} (K_{II} - 1) + t_T (K_T - 1) + \frac{36 ПВ\%}{N} \right] + r_T K_\phi^2 R_d \left\{ \frac{N \cdot I_H}{3600} \left[t_{II} (K_{II} - 1) + t_T (K_T - 1) + \frac{36 ПВ\%}{N} \right] \right\}^2. \quad (11)$$

Перехідний тепловий опір напівпровідникового елемента РТМ для стандартних охолоджувачів вибирається за інформаційними матеріалами, а не стандартними - використовуємо вираз

$$Q_p = Q_k + r_e \Delta P. \quad (12)$$

Для виразу (11), аналітичним шляхом на ПЕОМ для різних значень струмів, числа і тривалості включень РМ визначені значення температур СЕП. Результати цих досліджень наведені на рис. 1 із урахуванням трьох різних режимів роботи РМ. Перший режим РМ (рис. 1, режим 1) є тривалим, у ньому середнє значення струму рівне ефективному значенню струму і максимальна температура не перевищує допустиму температуру за технічними умовами на напівпровідниковий елемент (тиристор).

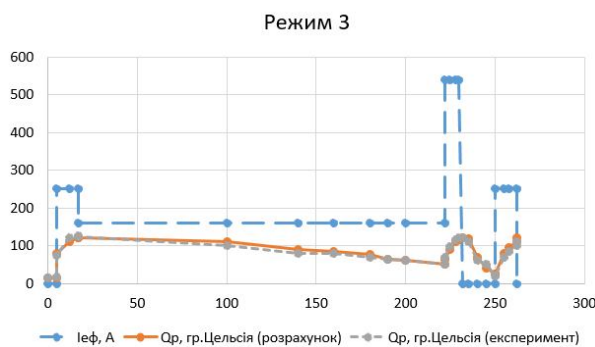
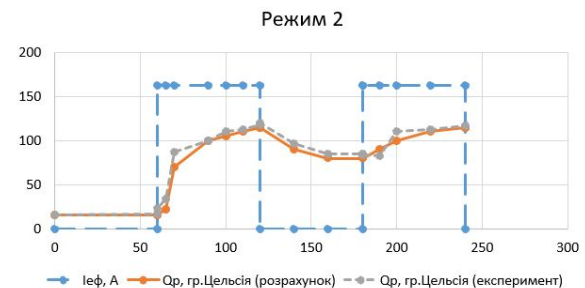
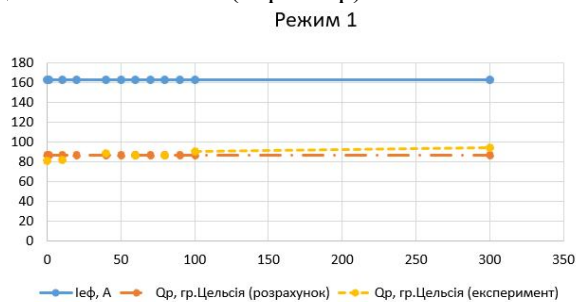


Рис. 1. Режими роботи СЕП

Режим другий (рис. 1, режим 2) є повторно-короткочасним при тривалості включення РМ, рівною 40%, і частоті включень, рівною 400. У цьому режимі температура на переході напівпровідникового елемента у 115°C досить близько наближається до гранично допустимої у 125°C . Третій режим РМ (рис. 1, режим 3) характерний наявністю пускового режиму тривалістю 12 с, тривалого режиму, рівного 205 с, і гальмівного режиму тривалістю 7 с із періодом повторення, рів-

ним 260 с. Максимальна температура у третьому режимі досягає максимальної температури, рівної 121°C.

Для підтвердження вірності аналітичних досліджень розроблена експериментальна лабораторна установка, в якій вимірювалася температура нагріву корпусів тиристорів РТМ. Тут температура тиристорів визначалася за допомогою спеціальних пристроїв при створенні штучного режиму. Методика виміру температури здійснювалася за допомогою термопар, закладених у отвір корпусу тиристора у районі р-п переходу, а точний нагрів напівпровідникового переходу визначався непрямим шляхом, використовуючи формулу (12). Відмінною особливістю розглянутої методики виміру є вимірювання температури безпосередньо у районі напівпровідникового переходу тиристора.

Висновки та напрямок подальших досліджень

1. Використання узагальненої схеми управління асинхронним двигуном та її програмного забезпечення з доповненою підпрограмою розрахунку теплових параметрів СЕП дозволило на ЕОМ визначити теплові характеристики силових елементів перетворювача з урахуванням режимів роботи асинхронного електродвигуна и технічних вимог, що пред'являються до керування електроприводу робочого механізму. Це дозволить впливати на вибір типу перетворювача для управління асинхронним електродвигуном.

2. Визначено, що основним критерієм для вибору типу перетворювача для управління асинхронним електродвигуном є температура переходу силових напівпровідникових елементів. Значення цієї температури не повинно перевищувати гранично-допустиму температуру на переході напівпровідникового елемента.

3. Запропоновано математичні вирази для визначення температури нагріву силових напівпровідникових елементів, що входять до складу перетворювача, при різних режимах роботи асинхронного електродвигуна. Запропонована методика для аналітичного розрахунку теплових параметрів напівпровідникових елементів із достатньою точністю (не більше 10%) дає можливість визначити тепловий режим напівпровідникових елементів перетворювачів залежно від режиму роботи електроприводу робочого механізму та обчислити максимальну - допустиму температуру в інтервалі робочого циклу.

4. Виконано моделювання на ЕОМ роботи асинхронного електродвигуна при визначенні теплових характеристики силових елементів перетворювача і перевірено експериментально отримані результати на адекватність. Встановлено, якщо знизити робочу температуру структури напівпровідникового приладу на 15 %, то інтенсивність відмов знизиться в два рази.

Отримані результати можна використовувати при проектуванні нових типів перетворювачів для управління асинхронних електродвигунів і при їх промисловій експлуатації.

Список літератури

1. **Lobov V.** Investigation of temperature distribution along the height of the layer of pellets on conveyor roasting machine. **Lobov V., Lobova K., Koltiar** // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – No 4, p. p. 34-38.
2. **Du, B.** Transient Electrothermal Simulation of Power Semiconductor Devices / **B. Du, J. Hudgins, E. Santi, A. Bryant, P. Palmer, H. Mantooh** // IEEE Trans. Power Electron., vol. 25, no. 1, 2010. p.p. 237-248.
3. **Merrickh, A. A.** Compact thermal modeling methodology for predicting skin temperature of passively cooled devices / **A. A. Merrikh** // Applied Thermal Engineering, vol. 85, Jun. 2015, p.p. 287-296.
4. **Сосков А.Г., Соскова И.А.** Полупроводниковые аппараты: коммутация, управление, защита. Учебник (под ред. А.Г. Соскова). – К: Каравелла, - 2005. - 344 с.
5. **R. Baraniuk** Calculation of pulce converters electrothermal processes purposely to heat protection application / **R. Baraniuk, V. Todorenko, D. Ushakov** // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016.
6. **Кошелев К. С.** Исследование и разработка средств защиты статического компенсатора реактивной мощности с цифровой системой управления: автореф. дисс. на соискание уч. степени к.т.н.: спец. 05.09.01. «Электромеханика и электрические аппараты» / **К. С. Кошелев.** – Москва, - 2008. – 20 с.
7. **Розанов Ю. К., Соколова Е. М.** Электронные устройства электромеханических систем. М.: Академия, - 2004. – 272с.
8. **Петрушин В.С., Якимец А.М., Бангула В.Б.** Анализ пуска асинхронного двигателя с помощью тиристорного преобразователя напряжения // Електротехніка і електромеханіка. – 2012. – №6. – С. 31-33.
9. **Фигаро Б.И.** Применение устройств плавного пуска и торможения асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в электроприводах крановых механизмов передвижения / **Б.И. Фигаро, Д.С. Васильев** // Електротехнические и компьютерные системы. – 2011. - №4. – С.30-38.
10. **Lobov Vyacheslav.** (2015). Method for research of parametric control schemes by asynchronous motor. Metallurgical and Mining Industry, No.6, p.p.102-108.
11. **Капитонов С. С.** Определение характеристик силовых полупроводниковых приборов в состоянии низкой

проводимости с помощью программной среды LABVIEW / Н. Н. Беспалов, М. В. Ильин, С. С. Капитонов // Инженерные, научные и образовательные приложения на базе технологии National Instruments – 2012: сб. науч. тр. – М., - 2012. – Вып. XI. – С. 354-356.

12. Кучер Д.Б. Моделювання теплових пошкоджень напівпровідникових приладів імпульсним електромагнітним випромінюванням різної форми / Д.Б. Кучер, С.В., Тараненко, Л.В. Литвиненко, Т.В. Зонтова // Системи обробки інформації. 2013, випуск 7 (114) - С. 40-49.

13. Сосков А.Г. Анализ методов расчёта температуры полупроводниковой структуры силовых полупроводниковых приборов в условиях их работы в коммутационных полупроводниковых аппаратах / Сосков А.Г., Рак Н.О., Соскова И.А. // Электротехника і Електромеханіка. 2008. №1 –С.49-52.

14. Сосков А.Г. Методика розрахунку теплового режиму потужних керуємих напівпровідникових пристроїв силових комутаційних апаратів при тривалій дії струмового навантаження / А.Г. Сосков, І.О. Соскова, П.Н. Алаєв, Н.О. Рак // Світлотехніка та електроенергетика. № 7-8. – С. 70-76.

15. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник. – К.: Либідь, - 2005. – 680 с.

16. Плахтина О. Г. Частотно-керовані асинхронні та синхронні електроприводи / О. Г. Плахтина, С. С. Мазепа, А. С. Куцик. – Львів : Видавництво НУ"ЛП", - 2002. 228 с.

17. Nazarenko, V.M., Lobov, V.I., Zhosan, A.A., Nechaeva, S.V. (2004). Universal program for automated choice of control circuit for induction motor drive of conveyer unit. Promyshlennaya Energetika. №.1, p.p.42-46.

18. Замятин В. Я. и др. Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры: Справочник / В. Я. Замятин, Б. В. Кондратьев, В. М. Петухов. – М.: Радио и связь, - 1987. – 576 с., ил.

Рукопис подано до редакції 26.03.2018

УДК 622.013:622.34–047.44:622.27

М. В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц.,
Криворізький національний університет

ВПЛИВ ВТРАТ БАЛАНСОВО-ПРОМИСЛОВИХ ЗАПАСІВ І ЗБІДНЕННЯ ВМІСТУ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН НА ПРОЦЕС УСЕРЕДНЕННЯ

Мета. Метою даної роботи є розробка методу маркшейдерського забезпечення визначення втрат балансово-промислових запасів, збіднення вмісту якісних показників корисних копалин і величин впливу на однорідність якісних показників залізорудної маси.

Методи дослідження. Розглянуто питання, як однорідність якісних характеристик складових залізорудної маси пов'язана із втратами балансово-промислових запасів і збідненням вмісту якісних показників корисних копалин. Формування кожного з одиничних потоків відбувається під впливом втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин. Виконано розрахунки характеристик усереднення вмісту якісних показників одиничних потоків залізорудної маси.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Отримано вираз, що показує, яким чином пов'язані між собою ознаки, які характеризують процеси усереднення вмісту якісних показників корисних копалин, втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин при роботі видобувної одиниці. При роботі окремої видобувної одиниці кількість і якість видобутої залізорудної маси, втрачених балансово-промислових запасів, кількість розубожуючих порід і вміст якісних показників усередненого заліза, пов'язаного з магнетитом, розглядаємо як випадкові процеси і для характеристики використаємо математичний апарат теорії випадкових кореляційних функцій.

Практична значимість. При розрахунках показників однорідності якісних складових залізорудної маси при експлуатації гірничовидобувних підприємств враховано вплив втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин на процес усереднення вмісту якісних показників корисних копалин. З урахуванням гірничо-геологічних умов видобутку зробити оцінку впливу втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин на однорідність якісного складу одиничного потоку залізорудної маси.

Результати. Виконано моделювання кількісних і якісних характеристик показників корисних копалин відосблених і взаємозалежних динамічних рядів для прогнозування якісних показників Криворізького родовища залізистих кварцитів. Доведено, що однорідність якісних характеристик складових загально рудничного потоку залізорудної маси залежить від однорідності одиничних потоків, що надходять із забоїв окремих видобувних одиниць. Розглянуто методику моделювання кількісних і якісних характеристик показників корисних копалин дільниць залізистих кварцитів стосовно технології прогнозування з невеликими інтервалами дискретності.

Ключові слова: родовище, запаси, корисні копалини, якісні показники, збіднення, усереднення, втрати.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-50-55

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Розробка залізорудного родовища, покладу, рудного тіла чи дільниць супроводжується втратами балансово-промислових запасів і збідненням вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі безрудними прошарками і вміщуючими породами. Втрати балансово-промислових запасів залістистих кварцитів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі безпосередньо і істотно впливають на однорідність якісних показників залізорудної маси, яку видобуваємо [1–3]. Під впливом втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі зростають коливання вмісту корисних компонентів у потоці.

Аналіз досліджень і публікацій. При розрахунках показників однорідності якісних складових залізорудної маси при експлуатації і проектуванні гірничодобувних підприємств необхідно враховувати вплив втрат балансово-промислових запасів залістистих кварцитів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі на процес усереднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі [4,5]. У зв'язку із цим актуальні завдання вивчення процесів втрат балансово-промислових запасів залістистих кварцитів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі, виявлення закономірностей їх утворення і протікання в часі при різних системах і способах видобутку балансово-промислових запасів залістистих кварцитів з родовища, покладу, рудного тіла чи дільниць.

Постановка завдання. Виникає питання, як однорідність якісних характеристик складових залізорудної маси, пов'язана із втратами балансово-промислових запасів і збідненням вмісту якісних показників корисних копалин. Однорідність якісних характеристик складових загальнорудничного потоку залізорудної маси залежить від однорідності одиничних потоків, які надходять із забоїв окремих видобувних одиниць. В свою чергу, формування кожного з одиничних потоків залізорудної маси відбувається під впливом втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі. Тому з урахуванням впливу втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі робимо, в першу чергу, розрахунки показників усереднення вмісту якісних показників корисних копалин у одиничних потоках залізорудної маси.

Викладення матеріалу та результати. Для розв'язку цієї задачі скористаємось [6,7,11] виразами балансу кількості залізорудної маси і балансу кількості заліза, пов'язаного з магнетитом, при видобутку балансово-промислових запасів залістистих кварцитів B

$$D = B - P + V, \quad (1)$$

$$Da = Bc - Pc_{II} + Vb, \quad (2)$$

де D – кількість видобутих балансово-промислових запасів; P – кількість втрачених балансово-промислових запасів; V – кількість порід засмічуючих вміст якісних показників корисних копалин; a , c , c_{II} , b – вміст якісних показників заліза, пов'язаного з магнетитом, відповідно у видобутих балансово-промислових запасах, у масиві балансово-промислових запасах, у втрачених балансово-промислових запасах і у породах засмічуючих вміст якісних показників корисних копалин.

Формули (1) і (2) справедливі для будь-якої дільниці родовища корисних копалин, яку технологічно відпрацьовуємо, тому їх можна використати для оцінки кількості заліза, пов'язаного з магнетитом, і вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі, видобутої однією видобувною одиницею у певний період часу (годину, зміну, добу). Стосовно роботи однієї видобувної одиниці в i -у зміну вирази (1), (2) мають показники видобутку, втрат балансово-промислових запасів, збіднення вмісту якісних показників корисних копалин і вмісту якісних показників заліза, пов'язаного з магнетитом, які встановлені для дільниць родовища, відпрацьованого в i -у зміну [11]. При цьому мінливості показників D_i , P_i , V_i , C_i та інші розглядаємо як випадкові функції, які змінюються протягом розглянутого періоду (місяця, кварталу і інше). Це значить, що при роботі окремої видобувної одиниці кількість і якість видобутої залізорудної маси, втрачених балансово-промислових запасів, кількість розубожуючих порід і вміст якісних показників заліза, пов'язаного з магнетитом, розглядаємо як випадкові процеси і для характеристики використати математичний апарат теорії випадкових функцій. У якості показників характеристик випадкових процесів втрат балансово-промислових запасів залістистих кварцитів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин приймаємо відповідно кореляційні функції r_{D_i} , r_{P_i} ,

r_{bb} . Якщо у формулу (2) підставити значення залежної змінної B , що визначено з рівності (1), то вираз для балансу кількості заліза, пов'язаного з магнетитом, при видобутку i -ї ділянки покладу корисних копалин з масиву залізистих кварцитів прийме вид

$$D_i a_i = D_i c_i + P_i c_i + B_i b_i - B_i c_i - P_i c_{Pi}. \quad (3)$$

Визначаємо коваріаційні функції правої і лівої частин рівності (3). Для цього визначаємо наявність взаємної кореляції випадкових функцій, які входять у вираз балансу кількості заліза, пов'язаного з магнетитом. В принципі задачу можна розв'язати у загальному виді з урахуванням взаємної кореляції всіх випадкових функцій D_i, P_i, B_i, C_i і т. д. [11]. Визначення впливу втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин на технологічні процеси видобутку та усереднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізородній масі приводить до необхідності розширення і поглиблення уявлень про сутність втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин. Збіднення вмісту якісних показників корисних копалин необхідно розглядати як процес залучення у видобутку пустих порід і некондиційної залізородної маси. Для характеристики процесу збіднення вмісту якісних показників корисних копалин використовуємо математичний апарат теорії випадкових функцій. Тому обмежимося розглядом характерного випадку видобутку балансово-промислових запасів, при якому випадкові функції D_i, P_i, B_i є взаємно корелюючими, а всі інші випадкові функції, що входять у вираз (3), будемо вважати некорелюючими [11]. Для цих умов, враховуючи, що x і x' є значення випадкової функції, які відносимо до різних моментів часу t і t' (до різних перетинів випадкової функції), отримуємо

$$\begin{aligned} r_{DD'} r_{aa'} &= \overline{DD'} r_{aa'} + \overline{aa'} r_{DD'} = r_{DD'} r_{cc'} + \overline{DD'} r_{cc'} + \overline{cc'} r_{DD'} + r_{PPP'} r_{cc'} + \overline{PPP'} r_{cc'} + \\ &+ \overline{cc'} r_{PPP'} + r_{BB'} r_{cc'} + \overline{BB'} r_{cc'} + \overline{cc'} r_{BB'} + r_{PPP'} r_{c_{PP}c_{PP}} + \overline{PPP'} r_{c_{PP}c_{PP}} + \overline{c_{PP}c_{PP}} r_{PPP'} + \\ &+ r_{BB'} r_{bb'} + \overline{BB'} r_{bb'} + \overline{bb'} r_{BB'} + 2r_{Dc, Pc} - 2r_{Dc, Bc} - 2r_{Dc, Pc_{PP}} + 2r_{Dc, Bb} - 2r_{Pc, Bc} - \\ &- 2r_{Pc, Pc_{PP}} + 2r_{Pc, Bb} + 2r_{Bc, Pc_{PP}} - 2r_{Bc, Bb} - 2r_{Pc_{PP}, Bb}, \end{aligned} \quad (4)$$

де $r_{x \times y, z \times u}$ – взаємна коваріаційна функція добутку $x \times y$ і $z \times u$ випадкових функцій x, y, z, u ; $M[x] = x$ – математичне очікування випадкової функції x .

Взаємні коваріаційні функції, які входять у вираз (4), визначаємо наступним способом:

$$r_{Dc, Pc} = M[DcPc] - M[Dc]M[Pc] = \overline{DP} \overline{c}^2 - \overline{D} \overline{c} \overline{P} = D P \sigma_c^2 r_{DP} (\sigma_c^2 + c^2), \quad (5)$$

де r_{DP} – взаємна коваріаційна функція випадкових функцій D_i і P_i .

$$\begin{aligned} \text{Аналогічно отримуємо [11]} \quad r_{Dc, Pc} &= \overline{DB} \sigma_c^2 + (\sigma_c^2 + \overline{c}^2) r_{DB}; \quad r_{Dc, Pc_{PP}} = \overline{c} \overline{c}_{PP} r_{DP}; \\ r_{Dc, Bb} &= \overline{c} \overline{b} r_{DB}; \quad r_{Pc, Bc} = \overline{PB} \sigma_c^2 + (\sigma_c^2 + \overline{c}^2) r_{PB}; \quad r_{Pc, Pc_{PP}} = \overline{c} \overline{c}_{PP} \sigma_{PP}^2; \quad r_{Pc, Bb} = \overline{c} \overline{b} r_{PB}; \\ r_{Bc, Pc_{PP}} &= \overline{c} \overline{c}_{PP} r_{BP}; \quad r_{Bc, Bb} = \overline{c} \overline{b} \sigma_B^2; \quad r_{Pc_{PP}, Bb} = \overline{c}_{PP} \overline{b} r_{PB}. \end{aligned}$$

Підставляючи отримані значення коваріаційних функцій у вираз (4) і розв'язуючи його відносно $r_{aa'}$, будемо мати

$$\begin{aligned} r_{aa'} &= \frac{1}{r_{DD'} + \overline{DD'}} [(r_{cc'} + \overline{cc}') (r_{DD'} + r_{PPP'} + r_{BB'}) + r_{cc'} (\overline{DD'} + \overline{PPP'} + \overline{BB'}) + \\ &+ r_{c_{PP}c_{PP}} (r_{PPP'} + \overline{PPP'}) + r_{bb'} (r_{BB'} + \overline{BB'}) + (\overline{cc'} - 2\overline{c} \overline{c}_{PP}) r_{PPP'} + (\overline{bb'} - 2\overline{c} \overline{b}) r_{BB'} - \\ &- \overline{aa'} r_{DD'} + 2r_{DP} (\sigma_c^2 + \overline{c}^2 - \overline{c} \overline{c}_{PP}) - 2r_{DB} (\sigma_c^2 + \overline{c}^2 - \overline{c} \overline{b}) - \\ &- 2r_{PB} (\sigma_c^2 + \overline{c}^2 - \overline{c} \overline{b} - \overline{c} \overline{c}_{PP} + \overline{c}_{PP} \overline{b}) + 2\sigma_c^2 (\overline{DP} - \overline{DB} - \overline{PB})]. \end{aligned} \quad (6)$$

Отриманий вираз показує, яким чином пов'язані між собою показники, що характеризують процеси усереднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізородній масі, втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин при роботі окремої видобувної одиниці. В окремому випадку при $t=t'$ формулу (6) перетворимо у формулу для визначення дисперсії вмісту якісних показників усередненого заліза, пов'язаного з магнетитом, у залізородній масі, яка має вигляд

$$\begin{aligned} \sigma_a^2 = & \frac{1}{\sigma_D^2 + \bar{D}^2} [(\sigma_C^2 + \bar{c}^2)(\sigma_D^2 + \sigma_{II}^2 + \sigma_B^2) + \sigma_C^2(\bar{D}^2 + \bar{P}^2 + \bar{B}^2) + \\ & + \sigma_{c_{II}}^2(\sigma_{II}^2 + \bar{P}^2) + \sigma_B^2(\sigma_B^2 + \bar{B}^2) + (\bar{c}^2 - 2\bar{c}\bar{c}_{II})\sigma_{II}^2 + (\bar{b}^2 - 2\bar{c}\bar{b})\sigma_B^2 - \\ & \bar{a}^2\sigma_D^2 + 2K_{ДП}(\sigma_C^2 + \bar{c}^2 - \bar{c}\bar{c}_{II}) - 2K_{ДВ}(\sigma_C^2 + \bar{c}^2 - \bar{c}\bar{b}) - \\ & - 2K_{ПВ}(\sigma_C^2 + \bar{c}^2 - \bar{c}\bar{b} - \bar{c}\bar{c}_{II} + \bar{c}_{II}\bar{b}) + 2\sigma_C^2(\bar{D}\bar{P} - \bar{D}\bar{B} - \bar{P}\bar{B})]. \end{aligned} \quad (7)$$

де $K_{ДП}$, $K_{ДВ}$, $K_{ПВ}$ – кореляційні моменти величин D і P , D і B , P і B .

Розглянемо випадки, які зустрічаються на практиці видобування запасів корисних копалин.

1. Збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі проводимо забалансовими запасами. Це означає, що для визначення коваріаційної функції у формулі (6) слід припустити, що $b=b'=0$, $r_{bb}=0$.

$$\begin{aligned} r_{aa'} = & \frac{1}{r_{ДД'} + \bar{D}\bar{D}'} [(r_{cc'} + \bar{c}\bar{c}') (r_{ДД'} + r_{III'} + r_{BB'}) + r_{cc'}(\bar{D}\bar{D}' + \bar{P}\bar{P}' + \bar{B}\bar{B}') + \\ & + r_{c_{II}c'_{II}}(r_{III'} + \bar{P}\bar{P}') + r_{III'}(\bar{c}\bar{c}' - 2\bar{c}\bar{c}_{II}) - \bar{a}\bar{a}'r_{ДД'} + 2r_{ДП}(\sigma_C^2 + \bar{c}^2 - \bar{c}\bar{c}_{II}) - \\ & - 2r_{ДВ}(\sigma_C^2 + \bar{c}^2) - 2r_{ПВ}(\sigma_C^2 + \bar{c}^2 - \bar{c}\bar{c}_{II}) + 2\sigma_C^2(\bar{D}\bar{P} - \bar{D}\bar{B} - \bar{P}\bar{B})]. \end{aligned} \quad (8)$$

Для розрахунків дисперсії вмісту якісних показників заліза, пов'язаного з магнетитом, при збідненні (розубоженні) пустими породами слід припустити, що $b=0$ і $\sigma_b=0$. Будемо мати

$$\begin{aligned} \sigma_a^2 = & \frac{1}{\sigma_D^2 + \bar{D}^2} [(\sigma_C^2 + \bar{c}^2)(\sigma_D^2 + \sigma_{II}^2 + \sigma_B^2) + \sigma_C^2(\bar{D}^2 + \bar{P}^2 + \bar{B}^2) + \\ & + \sigma_{c_{II}}^2(\sigma_{II}^2 + \bar{P}^2) + \sigma_{II}^2(\bar{c}^2 - 2\bar{c}\bar{c}_{II}) - \bar{a}^2\sigma_D^2 + 2K_{ДП}(\sigma_C^2 + \bar{c}^2 - \bar{c}\bar{c}_{II}) - \\ & - 2K_{ДВ}(\sigma_C^2 + \bar{c}^2) - 2K_{ПВ}(\sigma_C^2 + \bar{c}^2 - \bar{c}\bar{c}_{II}) + 2\sigma_C^2(\bar{D}\bar{P} - \bar{D}\bar{B} - \bar{P}\bar{B})]. \end{aligned} \quad (9)$$

2. Збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі відсутнє. Для розрахунку коваріаційної функції вмісту якісних показників заліза, пов'язаного з магнетитом, в цьому випадку у формулі (8) необхідно прийняти, що $B=B'=0$, $r_{BB'}=0$. За таких умов отримаємо

$$\begin{aligned} r_{aa'} = & \frac{1}{r_{ДД'} + \bar{D}\bar{D}'} [(r_{cc'} + \bar{c}\bar{c}') (r_{ДД'} + r_{III'}) + r_{cc'}(\bar{D}\bar{D}' + \bar{P}\bar{P}') + r_{c_{II}c'_{II}}(r_{III'} + \bar{P}\bar{P}') + \\ & + r_{III'}(\bar{c}\bar{c}' - 2\bar{c}\bar{c}_{II}) - \bar{a}\bar{a}'r_{ДД'} + 2r_{ДП}(\sigma_C^2 + \bar{c}^2 - \bar{c}\bar{c}_{II}) + 2\sigma_C^2\bar{D}\bar{P}']. \end{aligned} \quad (10)$$

Для розрахунку дисперсії у формулі (9) припустимо, що $B=0$, $\sigma_B=0$, $K_{ДВ}=0$, $K_{ПВ}=0$. Формулу (9) суттєво спростимо і вона прийме вид

$$\begin{aligned} \sigma_a^2 = & \frac{1}{\sigma_D^2 + \bar{D}^2} [(\sigma_C^2 + \bar{c}^2)(\sigma_D^2 + \sigma_{II}^2) + \sigma_C^2(\bar{D}^2 + \bar{P}^2) + \sigma_{c_{II}}^2(\sigma_{II}^2 + \bar{P}^2) + \\ & + \sigma_{II}^2(\bar{c}^2 - 2\bar{c}\bar{c}_{II}) - \bar{a}^2\sigma_D^2 + 2K_{ДП}(\sigma_C^2 + \bar{c}^2 - \bar{c}\bar{c}_{II}) + 2\sigma_C^2\bar{D}\bar{P}']. \end{aligned} \quad (11)$$

3. Втрати балансово-промислових запасів при видобутку відсутні. Це означає, що у формулі (6) значення всіх показників, пов'язаних із втратами балансово-промислових запасів слід прийняти такими, що дорівнюють нулю. При цьому будемо мати

$$\begin{aligned} r_{aa'} = & \frac{1}{r_{ДД'} + \bar{D}\bar{D}'} [(r_{cc'} + \bar{c}\bar{c}') (r_{ДД'} + r_{BB'}) + r_{cc'}(\bar{D}\bar{D}' + \bar{B}\bar{B}') + r_{bb'}(r_{BB'} + \bar{B}\bar{B}') + \\ & + r_{BB'}(\bar{b}\bar{b}' - 2\bar{c}\bar{b}') - \bar{a}\bar{a}'r_{ДД'} - 2r_{ДВ}(\sigma_C^2 + \bar{c}^2 - \bar{c}\bar{b}') - 2\sigma_C^2\bar{D}\bar{B}']. \end{aligned} \quad (12)$$

Дисперсію для цього випадку отримаємо з виразу (7), приймаючи всі значення показників втрат балансово-промислових запасів залізистих кварцитів, що дорівнюють нулю.

$$\begin{aligned} \sigma_a^2 = & \frac{1}{\sigma_D^2 + \bar{D}^2} [(\sigma_C^2 + \bar{c}^2)(\sigma_D^2 + \sigma_B^2) + \sigma_C^2(\bar{D}^2 + \bar{B}^2) + \sigma_B^2(\sigma_B^2 + \bar{B}^2) + \\ & + \sigma_B^2(\bar{b}^2 - 2\bar{c}\bar{b}') - \bar{a}^2\sigma_D^2 - 2K_{ДВ}(\sigma_C^2 + \bar{c}^2 - \bar{c}\bar{b}') - 2\sigma_C^2\bar{D}\bar{B}]. \end{aligned} \quad (13)$$

4. Втрати балансово-промислових запасів відсутні і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі проводимо забалансовими запасами. У цьому випадку у формулі (12) приймаємо $b=b'=0$, $r_{bb'}=0$, а вираз для розрахунків прийме вид

$$r_{aa'} = \frac{1}{r_{ДД'} + \bar{D}^2} [(r_{cc'} + \bar{c}\bar{c}') (r_{ДД'} + r_{BB'}) + r_{cc'}(\bar{D}\bar{D}' + \bar{B}\bar{B}') - \bar{a}\bar{a}'r_{ДД'} - 2r_{ДВ}(\sigma_C^2 + \bar{c}^2) - 2\sigma_C^2\bar{D}\bar{B}]. \quad (14)$$

Аналогічно з формули (13) отримаємо вираз для розрахунків дисперсії вмісту якісних показників заліза, пов'язаного з магнетитом

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{\sigma_D^2 + \bar{D}^2} [(\sigma_c^2 + \bar{c}^2)(\sigma_D^2 + \sigma_B^2) + \sigma_c^2(\bar{D}^2 + \bar{B}^2) - \bar{a}^2\sigma_D^2 - 2K_{DB}(\sigma_c^2 + \bar{c}^2)]. \quad (15)$$

При відсутності втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин, як впливає з формул (14) і (15), коваріаційна функція і дисперсія вмісту якісних показників усередненого заліза, пов'язаного з магнетитом, залежать тільки від вмісту якісних показників заліза, пов'язаного з магнетитом, у надрах

$$r_{aa} = \frac{1}{r_{DD} + \bar{D}^2} (r_{cc} \cdot r_{DD} + \bar{c} \bar{c}' r_{DD} + \bar{D} \bar{D}' r_{cc} - \bar{a} \bar{a}' r_{DD}), \quad (16)$$

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{\sigma_D^2 + \bar{D}^2} (\sigma_c^2 \sigma_D^2 + \sigma_D^2 \bar{c}^2 + \sigma_c^2 \bar{D}^2 - \bar{a}^2 \sigma_D^2) \quad (17)$$

що підтверджує справедливості встановлених залежностей.

Формули (1)–(17) дозволяють з урахуванням гірничо-геологічних умов видобутку зробити оцінку впливу втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі на однорідність якісного складу одиничного потоку залізорудної маси, що надходить із забоїв окремих видобувних одиниць. Найбільші труднощі представляє виявлення коваріаційних функцій $r_{bb'}$, $r_{bb'}$, $r_{pp'}$, $r_{pp'}$ при підземному способі видобування балансово-промислових запасів, так як цього дотепер не виконували і пов'язано з постановкою спеціальних досліджень. Такий підхід дає можливість кількісно оцінити вплив збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі на процес внутрішньорудничого усереднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі. У зв'язку із цим актуальні завдання вивчення процесів втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі, виявлення закономірностей їх утворення і протікання в часі при різних системах і способах видобування балансово-промислових запасів залізистих кварцитів з родовища, покладу, рудного тіла чи дільниць. Процеси втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин в найбільш загальному випадку нерівномірні, тобто в однакові інтервали часу у видобування залучаємо різну кількість порід з різним вмістом якісних показників заліза, пов'язаного з магнетитом, а також втрачаємо різну кількість балансово-промислових запасів з різним вмістом якісних показників корисних копалин. Для підвищення однорідності показників якісних складових залізорудної маси, доцільно так організувати видобуток, щоб процеси втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі протікали у часі рівномірно.

Оцінюючи вплив збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі на усереднення вмісту якісних показників необхідно мати на увазі, що між середньою величиною збіднення (розубоження) і середнім квадратичним відхиленням є залежність (рис. 1). Вона виявлена у результаті аналізу звітних даних гірничовидобувних підприємств Кривбасу протягом декількох десятків років. Результати кореляційного аналізу свідчать про наявність зв'язку між розглянутими величинами: коефіцієнт кореляції дорівнює 0,7, похибка коефіцієнта кореляції становить 0,04 і свідчить про вірогідність отриманих результатів та рівняння регресії.

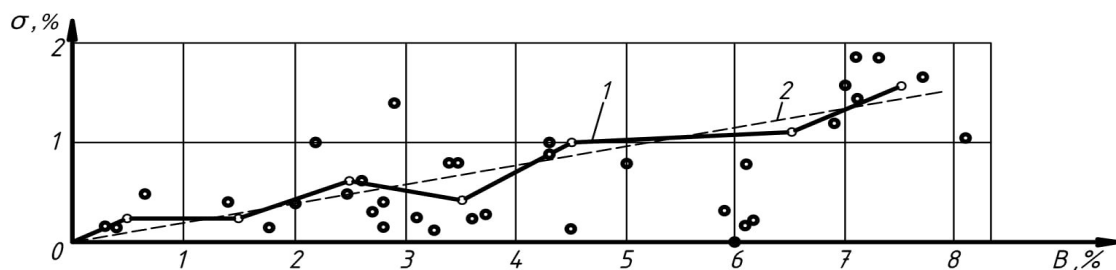


Рис. 1. Залежність середнього квадратичного відхилення величини збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у потоці залізорудної маси від її середнього значення: 1 – емпірична крива; 2 – рівняння регресії

Висновки та напрямок подальших досліджень. Визначення впливу втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин на технологічні процеси видобутку та усереднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі приводить до необхідності розширення і поглиблення уявлень про сутність втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин. Збіднення вмісту якісних показників корисних копалин розглядаємо як процес залучення у видобуток пустих порід і забалансових запасів. Для характеристики процесу збіднення вмісту якісних показників корисних копалин використовуємо математичний апарат теорії випадкових функцій. Залежність середнього квадратичного відхилення величини збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у потоці залізорудної маси від її середнього значення спрощує розрахунки і оцінку впливу збіднення вмісту якісних показників корисних копалин на процес усереднення вмісту якісних показників корисних копалин у потоці залізорудної маси, так як виключає необхідність проведення експериментальних робіт. Наявність такої закономірності пояснюємо тим, що середня величина завжди пов'язана з розмахом коливань збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у потоці залізорудної маси, тобто з величиною середнього квадратичного відхилення. Для підвищення однорідності показників якісних складових залізорудної маси, доцільно так організувати видобуток, щоб процеси втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у потоці залізорудної маси протікали у часі рівномірно.

Список літератури

1. Гудков В. М., Васильев В. М., Николаев К. П. Прогноз и планирование качества полезного ископаемого. М., Недра, 1976.
2. Бастан П. П., Азбель Е. И., Ключкин Е. И. Теория и практика усреднения руд. М., Недра, 1979.
3. Арсеньев С. Я., Прудовский А. Д. Внутрикатьерное усреднение железных руд. М., Недра, 1980.
4. Новые направления в маркшейдерии. Монография / В. Д. Сидоренко, П. И. Федоренко, Н. В. Шолох, А. В. Переметчик. – Кривой Рог : Издательский центр КТУ, 2010. – 265 с.
5. Шолох М. В. Визначення мінімального об'єму для усереднення рудної сировини / М. В. Шолох, О. Л. Топчий, М. П. Сергєєва // Зб. наукових праць «Вісник КТУ». – Кривий Ріг, 2010. – Вип. 25. – С. 68–72.
6. Шолох Н. В., Топчий А. Л. Направления развития системы обработки маркшейдерско-геологической информации / М. В. Шолох, А. Л. Топчий // Сб. научных трудов «Разработка рудных месторождений». – Кривий Ріг, 2010. – Вип. 93. – С. 94–97.
7. Шолох М. В. Точність визначення об'єму блоків при підрахунку запасів руди при відкритій розробці родовищ / В. Д. Сидоренко, М. В. Шолох, М. П. Сергєєва // Сб. научных трудов «Горнорудная и металлургическая промышленность». – Днепропетровск, 2015. – Вип. 1(272). – С. 108–112.
8. Шолох М. В. Моделювання процесів формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині рудного потоку / М. В. Шолох // Науково – техн. збірник «Гірничий вісник» ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг, 2015. – Вип. 100. – С. 111–116.
9. Шолох М. В. Внутрішньокатьєрне усереднення вмісту якісних показників корисних копалин у потоці залізорудної маси / М. В. Шолох, В. О. Лога // Науково – техн. збірник міжнародної науково – техн. інтернет-конференції «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі», 14 грудня 2016 р. – ДВНЗ «КНУ»: Кривий Ріг, 2016. – С. 71.
10. Шолох М. В. Моделювання динамічних рядів прогнозування якісних показників руди і корисної копалини у рудній сировині / М. В. Шолох // Науково – техн. збірник «Гірничий вісник» ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг, 2016. – Вип. 101. – С. 49–55.
11. Шолох М. В. Методика визначення і нормування вмісту якісних показників корисних копалин у промислово-балансових запасах / М. В. Шолох. – Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2016. – 160 с.
12. Шолох М. В. Обґрунтування числа видобувних одиниць для внутрішньорудничного усереднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі / М. В. Шолох // Матеріали міжнародної науково – техн. конференції «Розвиток промисловості та суспільства». – ДВНЗ «КНУ»: Кривий Ріг, 2017. – Том 1. – С. 92.
13. Шолох М. В. Нормування готових до видобування балансово-промислових запасів залістистих кварцитів при відкритому способі / М. В. Шолох // Сб. научных трудов «Качество минерального сырья». – ФАП Черняховский Д. А. – Кривой Рог, 2017. – С. 471–478.
14. Sholokh M. V. Mine surveying support for internal career averaging of qualitative indicators of minerals in the quarry ore line / M. V. Sholokh // For participation in the 2nd International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Mining Industry». December 14, 2017, Kryvyi Rih. – s. 173.
15. Sholokh M. V. Variance in the ready-to-extract balance industrial deposits with a view of the planned performance of the producing units / M. V. Sholokh, M. P. Sergieieva // For participation in the 2nd International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Mining Industry». December 14, 2017, Kryvyi Rih. – s. 175.
16. Sholokh M. V. Methodology for the standardization losses of ready-to-extract solid minerals / M. V. Sholokh // For participation in the 2nd International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Mining Industry». December 14, 2017, Kryvyi Rih. – s. 179.

Рукопис подано до редакції 11.04.2018

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф, В.Л. ОХРИМЧУК, аспірант,
М.О. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, доц, Криворізький національний університет

СТВОРЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ ПРОТЯЖНОЇ КАМ'ЯНОЇ БУДІВЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЬ ПРИ СЕЙСМІЧНИХ ВПЛИВАХ

Мета. Дослідження питання сейсмостійкості існуючих споруд. Будівель великої протяжності в плані зі стінами з кам'яної кладки. Їх архітектурно-конструктивні й експлуатаційні особливості передбачають високий ризик значних пошкоджень при виникненні сейсмічного впливу. Недостатність знань про поведінку протяжних кам'яних будівель під дією сейсмічного навантаження та відсутність чіткого алгоритму їх розрахунку на сейсмостійкість зумовили необхідність проведення досліджень уякі цьому напрямку.

Методи досліджень. Створення універсальної моделі характерної протяжної кам'яної будівлі для подальших розрахункових досліджень на сейсмічні впливи і встановлення закономірностей напружено-деформованого стану.

Наукова новизна полягає в отриманні коректної моделі визначеного виду споруд із урахуванням особливостей, які мають велике значення для відтворення картини сейсмічного впливу.

Практична значимість. Для досягнення поставленої мети було використано дані натурних обстежень, виконали автори в ході дослідження проблеми. Шляхом аналізу й систематизації архітектурно-конструктивних рішень групи обстежених споруд було виділено спільні характеристики, властиві для таких будівель, які склали основу для створення розрахункової моделі. Моделювання виконано у програмних комплексах «МОНОМАХ-САПР» та «ПІРА-САПР», що дозволяє одержати результати високої точності.

Результати. Створена основа для подальших розрахункових досліджень, що дають можливість виконати розрахунок на дію сейсмічного навантаження та оцінити дійсну роботу конструкцій протяжних кам'яних будівель. Наступним завданням у даному напрямку є встановлення закономірностей напружено-деформованого стану споруд. Це дозволить створити єдину методику розрахунку протяжних кам'яних будівель на сейсмостійкість і застосовувати одержані результати для розв'язання практичних задач. Перш за все тих, які спрямовані на розроблення комплексу ефективних організаційно-будівельних заходів із підготовки будівель до сприйняття сейсмічного навантаження та приведення відповідно до чинних будівельних норм.

Ключові слова: сейсмостійкість, навантаження, розрахункова модель, кам'яна кладка, протяжність, підсилення.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-55-59

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Протягом десятиліть світові та вітчизняні вчені працюють над питанням забезпечення сейсмостійкості будівель. Воно набуває все більшого значення у світлі потужних і руйнівних землетрусів, хвиля яких щороку прокочується різними кутками планети. Оскільки це явище досі залишається абсолютно не передбачуваним, єдиним ефективним заходом з захисту населення є забезпечення здатності будівель витримувати дію значних сейсмічних навантажень без руйнувань. Завданням будівельної галузі в Україні на сьогодні є не лише зведення сучасних об'єктів, які відповідають чинним вимогам до безпеки і надійності, а й проведення модернізації вже існуючих споруд. Особливо проблемною є наявність великого обсягу застарілого фонду нерухомості, який поєднує фізичну зношеність, незадовільний технічний стан і недостатню пристосованість до сприйняття дії можливих складних впливів [1].

Аналіз досліджень і публікацій. Великий внесок у розв'язання проблем сейсмостійкого будівництва зробили В.К. Єгупов, К.В. Єгупов, Ю.І. Немчинов, І.Л. Корчинський, А. Я. Барашиков та ін. У їх працях зазначався негативний вплив на загальну сейсмостійкість будівель великої протяжності в плані та наявність конструкцій із кам'яної кладки [2-4], але сумісна дія цих факторів не розглядалася. Автори даної статті виявили, що споруди, які суміщають такі характеристики, у значній кількості експлуатуються в умовах сейсмонебезпечних територій України. Тому ведемо роботу над питанням сейсмостійкості протяжних кам'яних будівель.

Постановка завдання. На даний момент за допомогою програмних комплексів можна провести розрахунки будівель із мінімальними спрощеннями й ідеалізацією та з високою точністю отримуваних результатів, що дозволяє визначити реальну роботу конструкцій. У ході роботи над виділеним питанням було виконано моделювання протяжної кам'яної будівлі для розрахункових досліджень на сейсмостійкість. Завданням даної статті є викладення основних отриманих результатів і шляхів їх одержання, а також окреслення подальших цілей і завдань.

Викладення матеріалу та результати. Автори провели дослідження стану існуючих про-

тяжких кам'яних будівель. Загалом було обстежено понад 30 споруд [5]. Із загальної кількості можна виділити групу, яку складають житлові п'ятиповерхові будинки. Вони розповсюджені на всій території України, у тому числі, у значній мірі, у сейсмонебезпечних регіонах. Найбільш загальні та притаманні розглядуваному класу будівель характеристики й покладено в основу створення розрахункової моделі.

Для подальшого дослідження обрано п'ятиповерховий житловий будинок на чотири під'їзди з підвалом і суміщеним перекриттям. Будівля прямокутна в плані, 12,2×68 м. Конструктивна схема – безкаркасна з трьома поздовжніми несучими стінами.

Стіни виконані з рядової одинарної цегли (цегляна кладка II категорії за сейсмостійкістю; нормальне зчеплення цегли з розчином $R_p \geq 1,2 \cdot 10^5$ МПа). Цегла добре обпалена, пластичного пресування М-100. Розчин – на цементному в'язучому М-50. Зовнішні стіни завтовшки 510 мм із віконними та балконними прорізами, внутрішні – 380 мм, перегородки – 120 мм.

Перекриття залізобетонні завтовшки 200 мм.

Стіни підвалу зі збірних залізобетонних блоків завтовшки 500 мм під зовнішні та 400 мм під внутрішні стіни. Фундаменти стрічкові з монолітного залізобетону класу В15.

Побудову розрахункової моделі виконано в ПК «Мономах-САПР 2013».

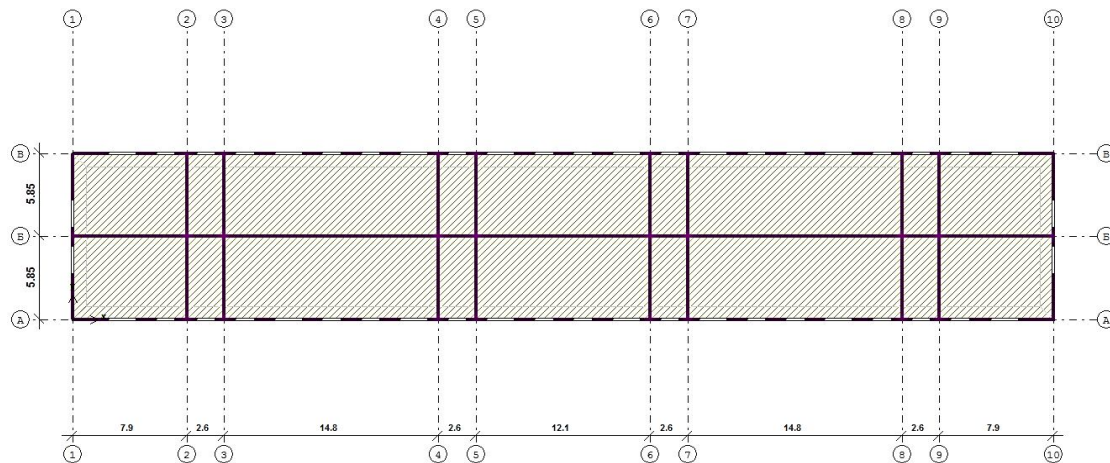


Рис. 1. План типового поверху розрахункової моделі характерної протяжної кам'яної будівлі у ПК «МОНОМАХ-САПР»

Будівля симетрична відносно поздовжньої та поперечної осей, без виступаючих частин.

Загальні характеристики будівлі висота типового поверху – 3 м, висота підвалу – 2,6 м.

У праці не ставилася мета дослідити вплив ґрунтових умов на сейсмостійкість протяжних кам'яних будівель, тому показники прийнято усереднено, як найбільш характерні для місцевостей, де даний клас споруд є найпоширенішим. Тому для моделювання за основний тип ґрунту прийнято супісок: модуль деформації ґрунту $E=2000$ тс/м², щільність ґрунту – 1,8 т/м³, кут внутрішнього тертя – 22°, коефіцієнт Пуассона – 0,3.

Параметри матеріалів:

стіни: найменування матеріалу – кладка (цегла М100, розчин М50), модуль пружності – 240000 тс/м², коефіцієнт Пуассона – 0,25; об'ємна вага – 2 т/м³ (прийнято з урахуванням оздоблення);

плити перекриття, покриття: найменування матеріалу – залізобетон, модуль пружності – 3×10^6 тс/м², коефіцієнт Пуассона – 0,2; об'ємна вага – 2,5 т/м³;

стіни підвалу: найменування матеріалу – ФБС, модуль пружності – 660766 тс/м², коефіцієнт Пуассона – 0,25; об'ємна вага – 2,4 т/м³.

Постійним навантаженням на плити перекриття змодельовано перегородки та враховано наявність їх оздоблення, для покриття – конструкція покрівлі. Задані змінні короточасні, рівномірно розподілені навантаження на плити перекриття та покриття, снігові навантаження відповідно до ДБН «Навантаження та впливи» [6]. Вітрові навантаження в розрахунок не бралися.

Для подальшого доопрацювання модель експортовано в ПК «ЛІРА-САПР». Параметри експорту: 4 вузлові скінченні елементи з кроком триангуляції 0,4 м для стін і плит. Моделювання

монолітних стрічкових фундаментів виконано введенням стержневих скінчених елементів в опорній частині моделі, для яких призначено коефіцієнти жорсткості основи. З метою врахування нерівномірності розподілу коефіцієнта в плані будівлі, його значення прийнято залежно від віддаленості від центра в межах $C=6300 \text{ т/м}^3$ (для центральної ділянки) до $C=11800 \text{ т/м}^3$ (для кутових ділянок).

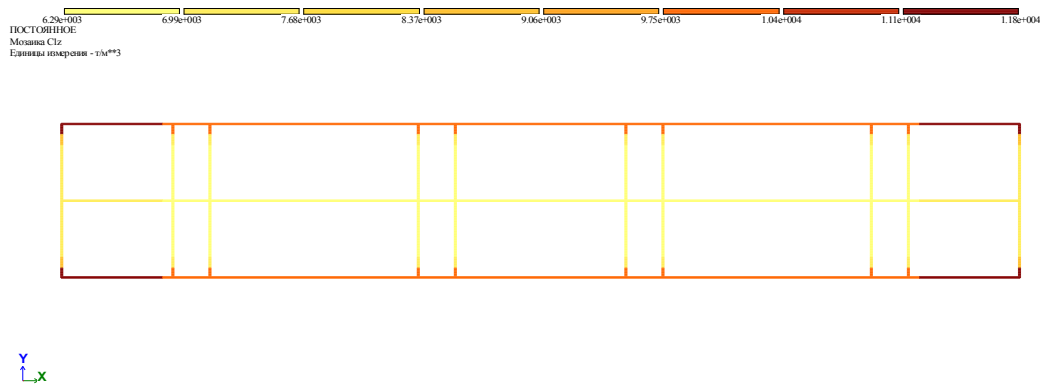


Рис.2. Мозаїка параметрів ґрунту (коефіцієнт жорсткості основи) розрахункової моделі у ПК «ЛІРА-САПР»

Остаточна розрахункова модель складається з 68026 елементів та 62853 вузлів. До заданих попередньо завантажень №№1,2 задано ще 3 сейсмічних – по осі X, Y, Z. Для реалізації поставленого завдання з визначення дійсного впливу протяжності на кам'яну будівлю створено три варіанти скінченно-елементної моделі, які відрізнялися способом задання сейсмічного навантаження.

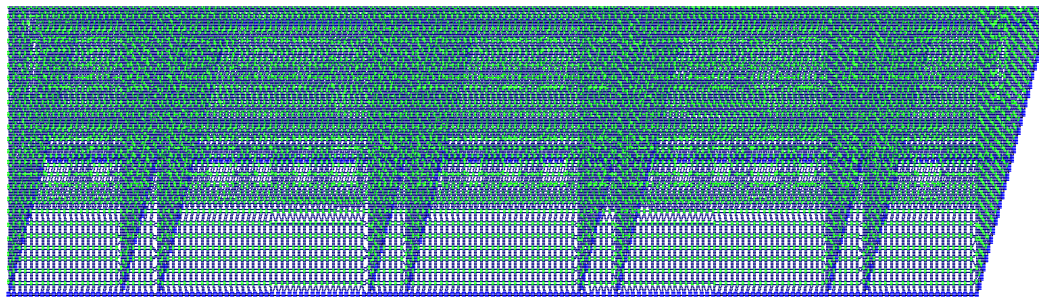


Рис. 3. Скінченно елементна розрахункова модель протяжної кам'яної будівлі у ПК «ЛІРА-САПР»: просторова модель зі скінченими елементами та перерізами конструкцій

Для створення першого варіанта моделі використано розрахунковий модуль 36 – сейсмічний вплив згідно з ДБН В.1.1–12:2014. Другого варіанту – модуль 37 – сейсмічний вплив за моделлю В.К. Єгупова та К.В. Єгупова [7] для ДБН В.1.1–12:2014. В основу методики розрахунку на дію сейсмічних впливів покладено припущення, що споруда коливається як система, у котрої на одному й тому ж рівні в будь-який момент часу всі точки плану знаходяться в однаковій фазі за переміщенням, швидкістю та прискоренням при їх однаковій амплітуді. У дійсності, у зв'язку з тим, що проходження сейсмічних хвиль не миттєве, а відбувається з деякою кінцевою швидкістю, яка залежить від густини ґрунту і характеристик конструкцій, різні ділянки основи за довжиною будівлі коливаються асинхронно з різними величинами прискорень, що викликає в споруді додаткові поздовжні зусилля стиску-розтягу й горизонтального зсуву [3]. Цю нерівномірність поля прискорень і враховує використаний розрахунковий модуль. Відомо, що при сейсмічних впливах виникають не лише поступальні, але й обертальні (крутильні) коливання. Спостереження за руйнуваннями, викликаними землетрусами, мають впевнені приклади структурних руйнувань, викликаних цими рухами. Наслідком цього виду коливань є пошкодження і руйнування інженерних споруд, здебільшого протяжних та висотних [4]. Третій варіант створено на основі другої моделі з урахуванням в окремому навантаженні сил кручення. Останнє реалізовано шляхом визначення інерційних сил від поступального руху, викликаного дією сейсмічних хвиль, знаходження додаткових інерційних сил від кручення будівлі з подальшим їх розподіленням по вузлах горизонтальних дисків перекриття.

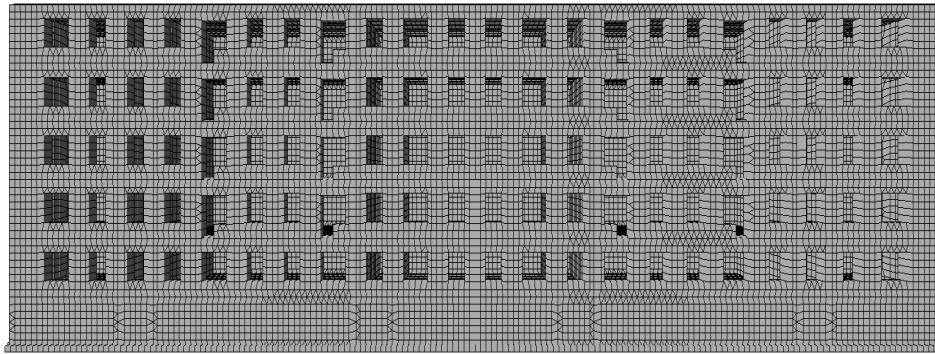


Рис.4. Просторова модель зі скінченими елементами та перерізами конструкцій

Висновки та напрямок подальших досліджень. Виконана робота становить основу для подальшого розрахунку протяжних кам'яних будівель на дію сейсмічного навантаження. Завдання подальших досліджень є визначення зусиль, що виникають у конструкціях, аналіз напружено-деформованого стану й пошук ефективних рішень підвищення сейсмостійкості, якщо результатами буде підтверджено таку необхідність.

Питання пошуку конструктивних і організаційно-технологічних рішень реконструкції будівель з часом не лише не втрачає, а й набуває все більшої актуальності. З безлічі існуючих на сьогодні способів підсилення конструкцій, важливо вибрати оптимальний з погляду конструктивної й економічної доцільності. А це неможливо без визначення початкових параметрів конкретного об'єкта. Завданням авторів даного дослідження є створення загальної методики з визначення сейсмостійкості існуючих протяжних кам'яних будівель та розроблення типового алгоритму підсилення, що дозволить розв'язування практичні завдання, які виникають у ході їх експлуатації.

Список літератури

1. Хохлін Д.О. Реконструкція кам'яних будівель в умовах сейсмонезбезпеки з використанням прибудови та вбудови залізобетонного каркасу / Д.О. Хохлін // Комунальне господарство міст. 2013. – Науково-технічний збірник №110. – С.17-22.
2. Немчинов Ю.И. Проблемы проектирования и строительства в сейсмоопасных районах Украины и основные направления развития норм по сейсмостойкому строительству. – К: НИИСК. – Режим доступа: http://www.seism.org.ua/seism06-02_r.html.
3. Сейсмостойкое строительство зданий: учеб. Пособие для ВУЗов / И.Л. Корчинский [и др.]; под. ред. И.Л. Корчинского. – М.: Высшая школа, 1971. – 317 с.
4. Егупов К.В. Проблемы проектирования на сейсмостойкость протяженных и несимметричных сооружений / К.В. Егупов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2000. – № 1. – С.23-30.
5. Валоной О.І. Оцінка технічного стану протяжних кам'яних будівель в умовах сейсмонезпечних територій / О.І. Валоной, В.Л. Охрімчук // Гірничий вісник. – Кривий Ріг, 2015. – Вип. 100. – С. 150-153.
6. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2-2:2006. – Офіц. вид. – [На заміну СНиП 2.01.07-85*; Чинні від 2007-01-01]. – К.: Укрархбудінформ: Мінбуд України, 2006. – 75 с.
7. Егупов В.К. Расчет зданий на сейсмические воздействия / В.К. Егупов, Т.А. Командрина. – К.: Будивельник, 1969. – 208 с.
8. МОНОМАХ-САПР 2013. Учебное пособие: Примеры расчета и проектирования / [Д.А. Городецкий, С.В. Юсипенко, Л.Г. Батрак, А.А. Лазарев и др.] – К.: Электронное издание, 2013. – 368 с.
9. ЛИРА-САПР 2013. Учебное пособие проектирования / [Д.А. Городецкий, М.С. Барабаш, Р.Ю. Водопьянов, В.П. Титок и др.] – М.: Электронное издание, 2013. – 376 с.
10. Amiya K. Samanta. On utilization of seismic resistance of masonry infills in design of low-rise mixed R.C. buildings – a case study / Amiya K. Samanta // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2009. – Vol. 4, no. 4. – p. 18-25.
11. Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека експлуатації: ДБН В.1.2-9-2008. – Офіц. Вид. – К.: Укрархбудінформ, 2008. – 21 с.
12. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2014. – Офіц. Вид. – [На заміну ДБН В.1.1-12:2006; Чинні від 16.05.2014]. – К.: Укрархбудінформ, 2014. – 119 с.
13. Donald Anderson. Seismic design guide for masonry buildings / Donald Anderson, Svetlana Brzev. – Toronto: Canadian Concrete Masonry Producers Association, 2009. – 317 p.
14. Gregory A. J. Szakats. Improving Earthquake Resistance of Small Houses and Community Infrastructure / Gregory A. J. Szakats. – Wellington: NZAID, 2006. – 30 p.

Рукопис подано до редакції 18.04.2018

**БАГАТОПОТОКОВІ ОБЧИСЛЕННЯ В ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНАЛУ ЯКОСТІ
МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ МЕТОДОМ ІМІТАЦІЇ ВІДПАЛУ**

Мета. Вивчення можливостей реалізації багатопотокових обчислень для алгоритму знаходження глобального мінімуму багатовимірної цільової функції, заснованого на стохастичному методі імітації відпаду, з метою оптимізації функціоналу якості моделей машинного навчання, вибір оптимальних значень параметрів застосування алгоритму для різних наявних обчислювальних потужностей, розроблення рекомендацій до застосування багатопотокових обчислень за певних початкових умов задачі багатовимірної оптимізації.

Методи. Використано числовий експеримент задачі паралельної оптимізації оціночного функціоналу якості моделей машинного навчання з розподіленням навчальної вибірки при різному розмірі пулу потоків, на вибірках різного розміру, для гладкої та негладкої оптимізаційних функцій.

Наукова новизна. Досліджена можливість використання багатопотокових обчислень з розподіленням навчальної вибірки при реалізації алгоритму знаходження глобального мінімуму багатовимірної цільової функції, заснованого на стохастичному методі імітації відпаду, та доцільність їх застосування до різних типів оптимізаційних функцій у машинному навчанні, вивчена закономірність зміни показника прискорення паралельних алгоритмів для різних обчислювальних потужностей.

Практична значимість виконаної роботи полягає в обґрунтуванні доцільності застосування багатопотокових обчислень з розподіленням навчальної вибірки при реалізації алгоритму імітації відпаду для оптимізації негладких цільових функцій. Емпірично знайдено оптимальні значення параметрів проведення експерименту для наявних обчислювальних ресурсів, що дозволяє значно збільшити швидкість виконання завдання мінімізації функції помилок регресійної моделі за критеріями середньоквадратичного відхилення.

Результати. Розроблено бібліотеку `opti_methods` методів багатовимірної оптимізації оціночного функціоналу якості моделей задач машинного навчання для мови програмування Python 3, реалізоване розподілення навчальної вибірки для різного розміру пулу потоків, знайдено оптимальні значення параметрів проведення експерименту для наявних обчислювальних ресурсів. Показано, що запропонований паралельний варіант алгоритму оптимізації методом імітації відпаду за схемою больцманівського гасіння може ефективно застосовуватися для вирішення завдань пошуку глобального мінімуму багатовимірної цільової функції.

Ключові слова: багатопотокові обчислення, показник прискорення, цільова функція, оптимізація, машинне навчання, функціонал якості, алгоритм імітації відпаду, градієнтний метод.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-59-65

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Протягом останнього десятиріччя спостерігається невпинне підвищення інтересу до машинного навчання (МН) та аналізу даних як у фундаментальній науці, так і в прикладних дослідженнях. Це є результатом того, що стали доступними великі обчислювальні потужності та помітно збільшилися обсяги та складність накопичених даних. Ця галузь інформаційних технологій потребує визначення найбільш придатних, гнучких алгоритмів, що за умов впливу зовнішніх параметрів не вимагатимуть перегляду або заміни всієї моделі.

Як відомо, завдання оптимізації функціоналу якості моделей машинного навчання приводять до пошуку екстремумів цільової функції (ЦФ) різними методами. Наявність різноманітних обмежень на параметри, що оптимізуються, та багатоекстремальність ЦФ, як правило, ведуть до залучення великих обчислювальних потужностей і, відповідно, до неможливості знаходження рішення за прийнятний час при використанні одного комп'ютера.

В ході проведених досліджень методів оптимізації функціоналу якості моделей машинного навчання [1], було визначено, що обчислювальна складність стохастичних методів імітації відпаду та генетичного алгоритму різко зростає із збільшенням обсягу навчальної вибірки. Наслідком цього стає незадовільний час роботи цих алгоритмів і для гладких, і для негладких оптимізаційних функцій. Для оптимізації гладких функцій у задачах навчання за прецедентами градієнтний метод і метод Нелдера-Міда демонструють хороші результати – незалежно від обсягу вибірки, їх швидкість є прийнятною. Але градієнтні методи не використовуються для оптимізації негладких функцій, оскільки такі функції є недиференційованими [2]. Тому задача поліпшення часу пошуку рішення для методу імітації відпаду є актуальною.

Дана проблема може бути вирішена застосуванням сучасних паралельних і розподілених

обчислювальних систем у поєднанні з використанням ефективних розпаралелених алгоритмів оптимізації [3].

У даній роботі була поставлена задача вивчення можливостей реалізації багатопотокових обчислень для алгоритму знаходження глобального мінімуму багатовимірної ЦФ з явними обмеженнями типу рівностей, заснованого на стохастичному методі імітації відпалу, з метою оптимізації функціоналу якості моделей машинного навчання.

Постановка завдання. Пошук глобального мінімуму функції $f: R^n$ при наявності явних обмежень здійснюється на деякій власній підмножині Ω метричного простору R^n

$$f(x) = f(x_1, \dots, x_n) \rightarrow \min, x \in \Omega, \Omega \subset R^n, \quad (1)$$

де підмножина Ω визначається обмеженнями типу рівностей $q(x) = 0$, де $q: R^n$.

Функція може мати багато локальних мінімумів. Якщо виконується нерівність $f(x^*) < f(x)$, $x \in X$, де $x \neq x^*$ — будь-яка точка множини X , то говорять про глобальний мінімум функції $f(x)$.

Існує проблема оптимізації параметрів w_1, \dots, w_N деякого алгоритму машинного навчання. Завдання оптимізації полягає в тому, щоб підібрати ці параметри таким чином, щоб алгоритм давав найкращий результат [4]. Зокрема, якщо якість роботи алгоритму описувати функцією якості $Q(w_1, \dots, w_N)$ від його параметрів – вагових коефіцієнтів моделі, то задача оптимізації набуває вигляду $Q(a_1, \dots, a_N) \rightarrow \max$. Розглянемо задачу навчання за прецедентами – задачу лінійної регресії

$$(a)x = w_0 + \sum_1^d w_j x^j,$$

де w_0 – вільний коефіцієнт, x – ознаки, w_j – вага x^j -ї ознаки, d – кількість ознак у вибірці.

Якщо додати $(d+1)$ -у ознаку, яка на кожному об'єкті приймає значення 1, то лінійний алгоритм можна буде записати у більш компактному вигляді

$$(a)x = \sum_1^{d+1} w_j x^j = \langle w, x \rangle,$$

де використовується позначення $\langle w, x \rangle$ для скалярного добутку двох векторів.

Якість алгоритму оцінюється тим, наскільки точно отримана модель описує залежності даних у вибірці, тобто чим менша помилка (відхилення) на кожному об'єкті, тим вище якість алгоритму [5]. В якості міри помилки не може бути вибрано відхилення від прогнозу (y) $Q(a, y) = a(x) - y$, оскільки в цьому випадку мінімум функціоналу не буде досягнутий при правильній відповіді $a(x) = y$. Найпростіший спосіб – розрахувати модуль відхилення $|a(x) - y|$. Тоді функціонал якості для регресійної моделі набуває вигляду $Q(a, x) = \frac{1}{l} \sum_1^l |a(x_i) - y_i|$. Запишемо цей функціонал у вигляді функції від вектора вагових коефіцієнтів

$$Q(w, x) = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l |\langle w, x_i \rangle - y_i|.$$

Необхідно підібрати коефіцієнти w такими, щоб помилка алгоритму була найменшою

$$Q(w, x) = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l |\langle w, x_i \rangle - y_i| \rightarrow \min_w. \quad (2)$$

Оскільки функція (2) негладка, то використання градієнтних методів для оптимізації функціоналу якості, заданого таким чином, стає неможливим. Тому доцільно використовувати не модуль відхилення $|a(x) - y|$, а квадрат відхилення прогнозу $(a(x) - y)^2$. Запишемо функцію якості як середньоквадратичний критерій відхилення через вектор вагових коефіцієнтів

$$Q(w, x) = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l (\langle w, x_i \rangle - y_i)^2 \rightarrow \min_w. \quad (3)$$

Таку цільову функцію (3), що має неперервну похідну на всій множині визначення, можливо мінімізувати градієнтними методами [6].

Аналіз досліджень і публікацій. Пошук глобального мінімуму функції (1) за наявності очевидних обмежень на варійовані параметри може бути здійснений методом імітації відпалу, запропонованим С. Кірпатриком [4].

Цей метод являє собою алгоритмічний аналог фізичного процесу керованого охолодження і використовує впорядкований випадковий пошук нових станів системи з більш низькою температурою.

В процесі повільного керованого охолодження розплавленого матеріалу, так званого відпалу, кристалізація розплаву супроводжується глобальним зменшенням його енергії E , проте допускаються ситуації, в яких вона може на деякий час зростати (при підігріві розплаву для запобігання його занадто швидкого охолодження). Завдяки допустимості короткочасного підвищення енергетичного рівня, стає можливим вихід з пасток локальних мінімумів енергії, які виникають при реалізації процесу. Тільки зниження температури T до абсолютного нуля унеможливає будь-яке самостійне підвищення енергетичного рівня розплаву [5].

В цьому випадку елементи x підмножини Ω у функції (1) представляють собою низку станів уявної фізичної системи, а значення функції $f(x)$ у цих точках використовується у якості енергії системи $E = f(x)$ [6]. В кожен момент часу температура T системи, що знаходиться в стані x , вважається заданою, тобто вона зменшується з плином часу за певним законом. Новий стан системи x' вибирається відповідно до заданого породжувального сімейства ймовірнісних розподілів $\zeta(x, T)$, яке при фіксованих x та T задає випадковий елемент $x' = G(x, T)$.

Після генерації нового стану $x' = G(x, T)$ система із ймовірністю $p(\Delta E, T)$ переходить до наступного кроку в стані x' , в іншому випадку повторюється процес генерації x' . Тут $\Delta E = f(x) - f(x')$ — приріст енергії. За ймовірність прийняття нового стану $p(\Delta E, T)$ вибирається або точне значення відповідної фізичної величини $p(\Delta E, T) = 1/(1 + \exp(\Delta E/T))$, або наближене значення $p(\Delta E, T) = \exp(-\Delta E/T)$. Друга формула використовується найчастіше. При цьому $p(\Delta E, T) > 1$ у випадку $\Delta E < 0$, і тоді вважається, що ймовірність прийняття нового стану $p(\Delta E, T)$ дорівнює 1. Відповідно, якщо у новому стані x' функція, що оптимізується, має краще значення, тобто $f(x') < f(x)$, то перехід у цей стан відбудеться в будь-якому випадку [7]. Пошук мінімуму ЦФ закінчується, коли температура T зменшується до заданого рівня T_{end} .

Будь-яка схема відпалу задається наступними параметрами: законом зміни температури $T(k)$, де k — номер кроку; породжувальним сімейством ймовірнісних розподілів $\zeta(x, T)$; функцією ймовірності прийняття нового стану $p(\Delta E, T)$.

Імітація відпалу є універсальним методом пошуку глобального мінімуму цільової функції і має як переваги, так і недоліки. До переваг відносять: можливість пошуку рішень для складних нелінійних задач, можливість роботи з даними з великою кількістю шумів та перешкод; здатність виходу з локальних мінімумів, універсальність методу, відносну легкість модифікації, адаптації та технічної реалізації. Серед недоліків, як правило, відзначають наступні: залежність якості рішення від часу його отримання, необхідність адаптації параметрів для кожного конкретного завдання [8].

Слід зазначити, що імітація відпалу є послідовним методом, це в деякій мірі ускладнює розпаралелювання, але тим не менш, були розроблені підходи, що дозволяють шляхом розділення обчислень досягти поліпшення часу пошуку рішення [9]. Перший спосіб — паралельний запуск алгоритму імітації відпалу — передбачає обчислення глобального мінімуму цільової функції одночасно на декількох процесорних пристроях з подальшим вибором кращого рішення керуючим вузлом. Другий спосіб — паралельний запуск алгоритму з обміном результатами — припускає після закінчення певної кількості ітерацій обмін між процесорними пристроями і вибір кращого результату для продовження обчислень. Третій спосіб — розбиття простору рішень на області — припускає запуск послідовного алгоритму імітації відпалу в кожній з виділених областей рішень з вибором найкращого рішення після закінчення обчислень.

Також з метою поліпшення часових показників роботи імітації відпалу, були розроблені гібридні методи, які найчастіше представляють собою комбінацію імітації відпалу та генетичних алгоритмів.

Для оцінки ефективності паралельних алгоритмів використовують різні підходи, найбільш поширеним з яких є показник прискорення [10]. Прискорення, що отримується при роботі алгоритму на p процесорах — це відношення часу роботи алгоритму на одному процесорі до часу роботи того ж алгоритму на p процесорах. Лінійне прискорення спостерігається, коли паралельний алгоритм на p процесорах працює в p разів швидше, ніж на одному процесорі. Сублінійне прискорення досягається, коли спостерігається збільшення швидкості розрахунків менше,

ніж у p разів. Суперлінійне прискорення спостерігається, коли збільшення швидкості розрахунків більше, ніж у p разів. Закон Амдала [11] дозволяє обчислити верхню межу прискорення, яке можна очікувати від паралельної реалізації алгоритму.

Викладення матеріалу та результати. В даній роботі ставилося за мету розробити метод оптимізації, що дозволяє за невеликий час надійно знаходити саме область глобального мінімуму. Відповідно на основі аналізу різних схем імітації відпалу, проведеного в [12], був обраний алгоритм пошуку глобального мінімуму ЦФ (1) методом імітації відпалу за схемою больцманівського гасіння. Опишемо основні кроки, які необхідно виконати для реалізації цього алгоритму.

Спочатку випадково обирається початкова точка $x = x_0$, $x \in \Omega$. Поточне значення енергії E встановлюється в значення $f(x_0)$. Встановлюється максимальна початкова температура $T(k)=T_0$, $T_0 > T_{end}$. Кожна k -та ітерація циклу складається з таких кроків. Спочатку генерується нова точка $x' = G(x, T(k))$, щільність породжувального сімейства ймовірнісних розподілів $g(x; x, T) = (2\pi T)^{-n/2} \exp(-|x - x|^2 / (2T))$. Потім обчислюється значення енергії в новому стані $E' = f(x')$, обчислюється приріст енергії $\Delta E = E' - E$. Якщо приріст енергії від'ємний, то виконується перехід до нового стану $x = x'$, $E = E'$, значення глобального мінімуму змінюється. Якщо ж ні, то виконується обчислення ймовірності переходу до нового стану $p(\Delta E, T(k)) = \exp(-\Delta E / T(k))$ та генерується випадкове число α з інтервалу $[0;1]$. Якщо $\alpha < p(\Delta E, T(k))$, то встановлюється $x = x'$, $E = E'$ та виконується перехід до наступної ітерації. Інакше повторюється другий крок ітерації, допоки не буде знайдено підходящу точку x' .

В результаті тестування описаного алгоритму, виявлено, що рішення (область мінімуму) дійсно знаходиться за прийнятний час, але недоліком є можливість знаходження локальних мінімумів, а не глобального.

Проблему, що виникла, можна вирішувати шляхом багаторазових повторних запусків процедури пошуку з однакових початкових умов, тому що генерація нових точок у факторному просторі здійснюється спочатку випадково, а потім вибором кращого значення. Наслідком таких дій стає пропорційне збільшення обсягів використання обчислювальних потужностей і, відповідно, витрат часу, що неприпустимо для складних, багатфакторних ЦФ. У такій ситуації підвищення ефективності роботи методу з точки зору мінімізації часу обчислень можна досягти шляхом розпаралелювання алгоритму між декількома процесорними пристроями.

Незручністю методу імітації відпалу з точки зору розпаралелювання є те, що кожен новий стан системи x' генерується на основі її попереднього стану x , і, отже, немає можливості розпаралелювання будь-якої частини алгоритму.

Тому було запропоновано здійснювати обчислення мінімумів ЦФ (1) одночасно на декількох процесорах з розподіленням навчальної вибірки на області (клієнтська частина алгоритму) і наступним вибором кращого рішення (глобального) у серверній частині алгоритму.

У клієнтській частині, яка виконується декількома процесорами в декількох областях простору рішень, здійснюється пошук мінімуму ЦФ (1) методом імітації відпалу за схемою больцманівського гасіння за допомогою описаного вище алгоритму. Потім результати роботи клієнтської частини алгоритму передаються в серверну частину, де й здійснюється вибір рішення з найменшим значенням ЦФ. Такий підхід має забезпечувати глобальність знайденого мінімуму.

В ході дослідження була розроблена бібліотека `opti_methods` методів багатовимірної оптимізації оціночного функціоналу якості моделей задач машинного навчання мовою Python 3.6. З використанням цієї бібліотеки були проведені числові експерименти паралельної оптимізації оціночного функціоналу якості моделей задач машинного навчання методом імітації відпалу з розподіленням навчальної вибірки при різному розмірі пулу потоків, на вибірках різного розміру, для гладкої та негладкої оптимізаційних функцій.

Таблиця 1
Час роботи алгоритму на різній кількості обчислювальних потоків для конфігурації 1, 2

Розмір пула	1	2	4	8	12
Час роботи алгоритму, с					
Конфігурація 1	42,9	27,09	19,82	27,75	36,8
Конфігурація 2	13,85	12,45	7,23	9,05	14,33

Результати числового експерименту застосування паралельних обчислень мінімізації функції помилок регресійної моделі за критеріями середньоквадратичного відхилення методом імітації відпалу наведено в табл. 1. Експеримент був проведений на двох різних конфігураціях обчислювальних потужностей:

1 – процесор Intel Core i7-7500U CPU 2.70 GHz, ядер: 2, логічних процесорів: 4, RAM 12 Гб; 2 – процесор Xeon E5-1620V2, частота 3.7 GHz, ядер: 4, логічних процесорів: 8, RAM 16 Гб.

Проілюструємо результати роботи алгоритмів графіками (рис. 1, 2).

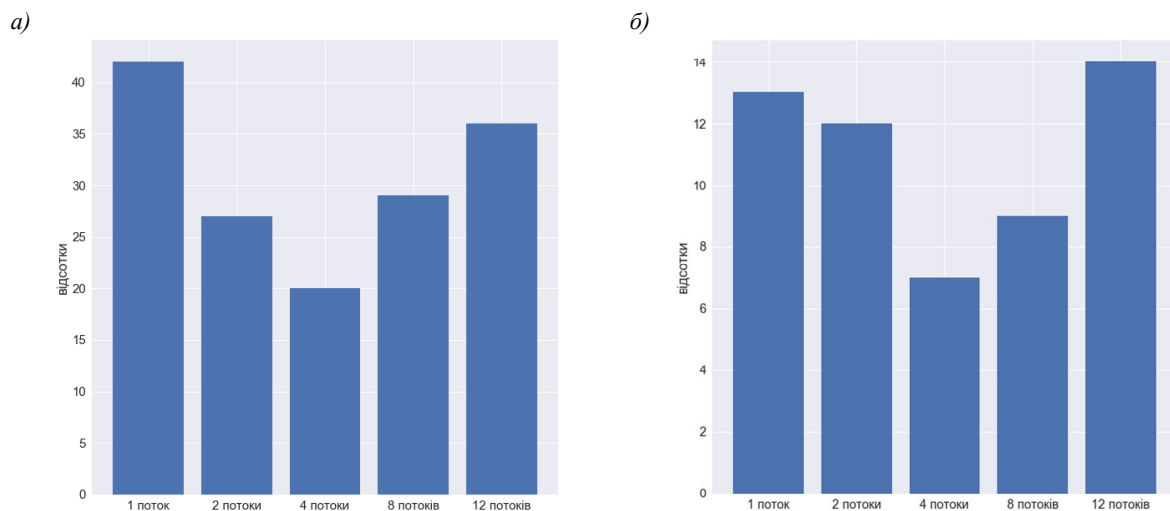


Рис. 1. Час роботи алгоритму на різній кількості потоків для конфігурації 1 – (а) і для конфігурації 2 – (б)

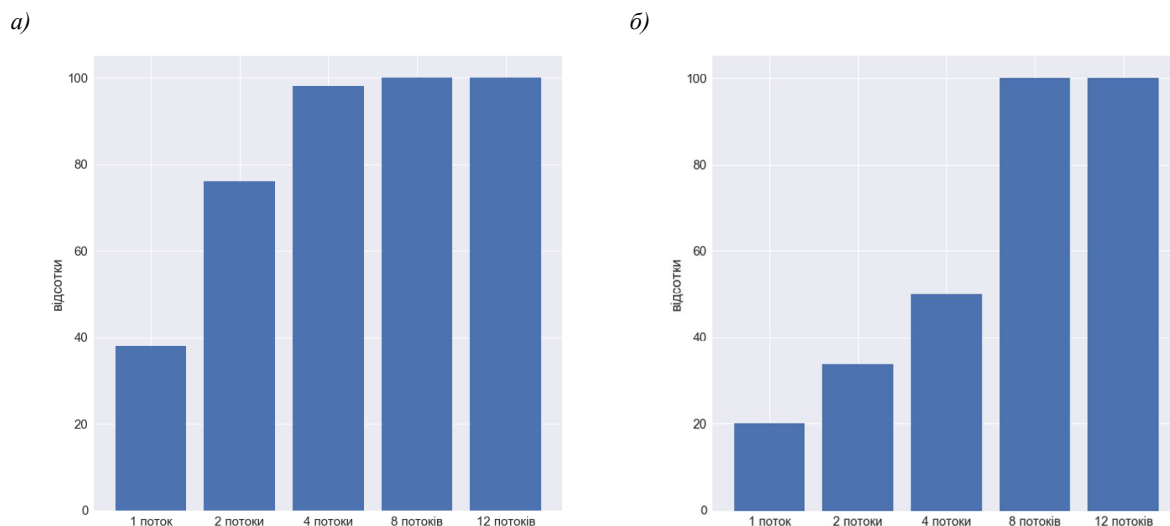


Рис. 2. Навантаження процесора для конфігурації 1 – (а) і для конфігурації 2 – (б)

Отриманий результат цілком відповідає очікуванням: для конфігурації 2 час виконання алгоритму менший, ніж у конфігурації 1, для всіх розмірів пулу. При цьому слід зазначити, що динаміка часу виконання розрахунків зберігається для будь-якої конфігурації – для 4-ох потоків швидкість реалізації алгоритму найвища.

Розподіл обчислювальних потужностей процесора виконується таким чином, що зазвичай пули мають максимальну кількість потоків. Якщо всі потоки зайняті, то додаткові задачі розміщуються у черзі, де знаходяться до того моменту, поки не з'являться вільні потоки. Це явище спостерігалось під час експерименту при розмірі пулу в 8 та 12 потоків на обох конфігураціях обчислювальних машин. Тому оптимальний розмір пулу складає 4 потоки.

Навантаження на процесор при різному розмірі пулу ілюструє рис. 2.

Використаємо для оцінки ефективності паралельних алгоритмів показник прискорення. Прискорення, що отримується при роботі алгоритму на p процесорах – це відношення часу роботи алгоритму на одному процесорі до часу роботи того ж алгоритму на p процесорах. Розрахуємо і визначимо тип прискорення паралельних обчислень для методу імітації відпалу (рис. 3).

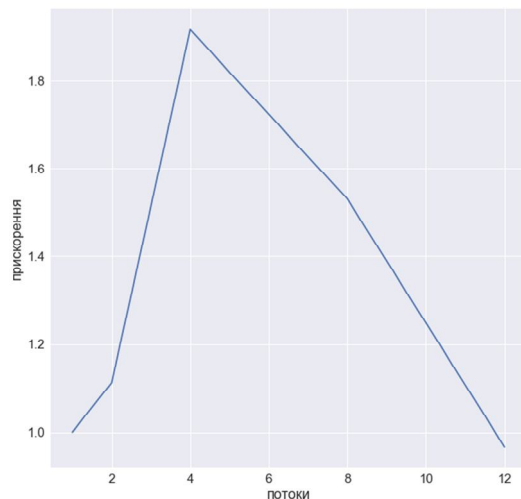


Рис. 3. Прискорення обчислень при розпаралелюванні алгоритма імітації відпалу

Оскільки час розрахунків на піку прискорення (4 потоки) майже вдвічі менше, ніж для роботи алгоритму на одному потоці, можна зробити висновок, що розпаралелювання алгоритму імітації відпалу з розподіленням навчальної вибірки на області дає сублінійне прискорення обчислень, що властиво для стохастичних алгоритмів.

Проведені дослідження показали, що при однопоточному обчисленні час виконання завдання мінімізації функції помилок регресійної моделі за критеріями середньоквадратичного відхилення достатньо великий за умов значного недовантаження процесорної потужності. Збільшення розміру пулу потоків дозволило емпірично знайти оптимальні

значення параметрів проведення експерименту за наявних обчислювальних ресурсів.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Проаналізувавши результати числового експерименту мінімізації функції помилок регресійної моделі за критеріями середньоквадратичного відхилення, можна зазначити, що запропонований паралельний варіант алгоритму оптимізації методом імітації відпалу за схемою больцманівського гасіння може ефективно застосовуватися для вирішення завдань пошуку глобального мінімуму багатовимірної ЦФ. Експериментально визначено, що для протестованих конфігурацій обчислювальних пристроїв оптимальний розмір пулу, який одночасно забезпечує високу швидкість розрахунків та доцільне навантаження на процесор, складає 4 потоки. При цьому час виконання розрахунків був майже вдвічі менший, ніж при роботі алгоритму імітації відпалу на одному потоці, тобто запропоноване розпаралелювання алгоритму з розподіленням навчальної вибірки на області дає сублінійне прискорення обчислень. В ході подальших досліджень отримані результати планується перевірити в ході експерименту глибокого навчання багатoshарових штучних нейронних мереж.

Список літератури

1. Шаповалова Н.Н., Рибальченко О.Г., Куропятник Д.І. Порівняльний аналіз методів оптимізації функціоналу якості моделей машинного навчання // Вісник Криворізького національного університету, Кривий Ріг. - 2018.
2. Луис Педро Козьоль, Вилли Ричарт. Построение систем машинного обучения на языке Python. 2-е издание / пер. с англ. Слинкин А. А. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 302 с.
3. Петер Флах. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. Учебник / пер. с англ. Слинкин А. А. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 408 с.
4. Kirkpatrick S., Gelatt C. D., Vecchi M. P. Optimization by simulated annealing // Science. - 1983. - Vol. 220. pp. 671–680.
5. Оптимізаційні методи та моделі. Підручник. / [Л. В. Забуранна, Н. В. Попрозман, Н. А. Клименко, О. І. Попрозман, С. В. Забуранний]. – К.: __, 2014. – 372 с.
6. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс: пер. с англ. Шихеева О.В. - М.: Радио и связь, 1988. - 128 с.
7. Вігліньський В. В., Наконечний С. І., Терещенко Т. О. Математичне програмування: Навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисц. – К.: КНЕУ, 2001. – 248 с.
8. Лопатин А.С. Метод отжига // Стохастическая оптимизация в информатике // СПб.: Изд-во СПбГУ – 2005, Вып. 1. - сс. 133–149.
9. Троценко Р.В., Посашенко А.В. Обзор метода имитации отжига и его модификаций в аспекте применимости к решению задачи комплектации вычислительной системы минимальной стоимости в условиях дефицита времени // Наука вчера, сегодня, завтра: сб. ст. по матер. XI междунар. науч.-практ. конф. № 4(11). – Новосибирск: Сиб АК - 2014.
10. Орлянская И. В. Современные подходы к построению методов глобальной оптимизации // [Електронний ресурс] // Исследовано в России. – 2002 - Режим доступа до ресурсу: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2002/189>.
11. Amdahl G. The Validity of Single Processor Approach to Achieving Large Scale Computing Capabilities // AFIPS Proc. Vol. 30, pp. 483-485, 1967.
12. Ingber L. Simulated Annealing: Practice versus theory // Mathematical and Computer Modelling. - 1993. - Vol. 18(11) - pp. 29–57.

Рукопис подано до редакції 28.11.2017

Р. О. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук, проф., Д. А. КРИШКО, канд. техн. наук, ст. викладач,
В.О.САВЕНКО, аспірант, І.В.ХОРУЖЕНКО, асистент
Криворізький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ФІЗИЧНИХ МОДЕЛЕЙ КОНСТРУКЦІЙ (ПІДПІРНИХ СТІН ТА ФУНДАМЕНТІВ-ОБОЛОНОК) ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Мета. Проектування оптимальних конструктивних рішень з урахуванням конкретних умов експлуатації одна з головних інженерних задач. Для підірних стін, застосовуваних на підроблюваних територіях з горизонтальними і вертикальними переміщеннями ґрунту, це завдання є особливо важливою. На сучасному етапі фундаментобудування виникає необхідність розробки більш прогресивних конструкцій фундаментів, які будуть більш економічні, технологічно досконаліші, здатні бути використані в складних інженерно-геологічних умовах. До таких фундаментів відносяться багатохвилові фундаменти-оболонки, різноманітні за формою, умовами роботи та сферою використання. Метою дослідження є визначення найбільш оптимального конструктивного рішення фундаменту під опори ліній електропередач (ЛЕП), що використовують на водонасичених, болотистих та слабких ґрунтах.

Методи дослідження. Теоретичною основою для моделювання методом еквівалентних матеріалів служить вчення про подібність, яке є науковим методом постановки експерименту, обробки його результатів і поширення цих результатів на натуральні явища. Три теореми теорії подібності дозволяють проаналізувати рівняння, що описують натурний і модельний процес, вивести умови моделювання у вигляді критеріїв подібності і вибрати масштабні коефіцієнти (константи подібності).

Наукова новизна. Актуальність даної роботи пов'язана із розв'язанням поставленої задачі. Її результатом є визначення оптимальних інженерних рішень з моделювання і виготовлення фізичних моделей підірних стін та фундаментів-оболонки для подальшого їх застосування в лоткових випробуваннях згідно із положеннями теорії планування експерименту.

Практична значимість. Фізичне моделювання дозволяє розробнику створювати моделі, які можуть бути використані багаторазово і спільно з іншими інженерами. Можливість імпортувати дані і моделі з інших середовищ розробки допомагає забезпечити точність моделей. Завдяки інтеграції цих моделей з алгоритмами управління і обробки сигналів розробник може перевірити помилки інтеграції на початку процесу проектування.

Результати. Використовуючи положення теорії подібності, були виготовлені фізичні моделі підірних стін і фундаментів-оболонки, що мають характеристики жорсткості та міцності відповідні натурним конструкціям. Надалі це дозволить вивчити процес контактної взаємодії цих конструкцій та деформованої основи, а також отримати математичні закономірності їх спільної роботи.

Ключові слова: складчастий фундамент, підпірна стіна спеціального типу, фізичні моделі, теорія подібності.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-65-70

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Проектування оптимальних конструктивних рішень з урахуванням конкретних умов експлуатації одна з головних інженерних задач. В процесі наукових досліджень виникає необхідність у використанні різних методів проведення експерименту, або у створенні власної методики, яка б задовольняла всім вимогам наукового дослідження. За допомогою традиційних методів дослідження часто не вдається забезпечити необхідну модернізацію або проектування будівель і споруд, тому в науці при вирішенні конкретних задач використовують новітні ефективні методи досліджень. При цьому особлива увага приділяється моделюванню об'єктів та процесів в цілому. Невід'ємною задачею при дослідженні роботи технічних систем є саме фізичне моделювання будівельних конструкцій для їх подальшого застосування в лабораторних лоткових випробуваннях. Тому значної уваги набуває пошук оптимальних рішень при виготовленні фізичних моделей підірних стін спеціального типу та фундаментів-оболонки із застосуванням сучасних технологій, які б задовольняли всім вимогам проведення наукового експерименту.

Аналіз досліджень і публікацій. При вивченні методів та способів фізичного моделювання особливу увагу слід звертати на те, щоб вони відповідали основним критеріям теорії подібності. При дослідженні наукових публікацій було проаналізовано способи фізичного моделювання різних структур із використанням новітніх технологій. В роботі [1,2] для проведення лоткового експерименту було виготовлено модель круглого фундаменту, частково використовуючи матеріал натурального фундаменту. Для виготовлення моделей використовували бетон дрібної фракції на портландцементі М400 з $V / \Omega = 0,37$. Як дрібний заповнювач використовували кварцовий пісок.

Армували зразки штукатурною сіткою, імітуючи армування сталевую арматурою. Натурний круглий фундамент у проекті мав вкладиші з низькомодульного матеріалу, що розташовані в заглибленнях на контактній поверхні фундаментної плити. При фізичному моделюванні ці вкладиші виготовляли окремо з резини, глини та насиченого водою піску. Геометричні розміри самої конструкції були зменшені у порівнянні з натурним у 74 рази. Метою проведення активного експерименту була оптимізація конструктивних параметрів фундаментної плити.

Постановка завдання. Метою дослідження є визначення оптимальних інженерних рішень з моделювання і виготовлення фізичних моделей підпірних стін та фундаментів-оболонок для подальшого їх застосування в лоткових випробуваннях згідно із положеннями теорії планування експерименту.

Викладення матеріалу та результати. Фізичне моделювання до цього часу, незважаючи на бурхливий розвиток чисельних методів, і обчислювальної техніки, у ряді випадків, залишається вельми ефективним методом дослідження, що дає вирішальні за своєю значущістю результати. Для проведення експериментальних досліджень, згідно з теорією планування експерименту, необхідне застосування конкретних моделей (підпірні стіни та фундаменти), які мають задані параметри і відповідають іншим вимогам. На даний момент у процесі наукових досліджень вивчається робота підпірних стін спеціального типу, а також складчастих фундаментів-оболонок під опори ліній електропередач в умовах нерівномірної деформації основи та в складних інженерно-геологічних умовах. Метод фізичного моделювання полягає в створенні лабораторної фізичної моделі об'єкта в зменшених масштабах і проведенні експериментів на цій моделі [3]. Висновки і дані, отримані в цих експериментах, поширюються потім на об'єкт в реальних масштабах.

Теорія подібності є вченням про методи наукового узагальнення експерименту. Вона вказує, як треба ставити досліди і як обробляти їх результати, щоб при проведенні невеликого числа експериментів мати можливість узагальнювати дослідні дані, отримуючи поодинокі рівняння для всіх подібних явищ [3].

При моделюванні використовувався метод розширеної подібності, в якому витримуються геометричні, механічні та силові аналоги з реальним об'єктом.

Теоретичною основою для моделювання методом еквівалентних матеріалів служить вчення про подібність, яке є науковим методом постановки експерименту, обробки його результатів і поширення цих результатів на натуральні явища [4]. Три теореми теорії подібності дозволяють проаналізувати рівняння, що описують натурний і модельний процес, вивести умови моделювання у вигляді критеріїв подібності і вибрати масштабні коефіцієнти (константи подібності) [5, 6].

Моделями підпірних стін є кутникова підпірна стіна та підпірна стіна спеціального типу (ПССТ) (рис. 1 а, б). Підпірна стіна спеціального типу – це монолітна підпорна стіна кутникового типу, яка має вертикальний та горизонтальний елементи на поверхні яких, з контактної сторони, розміщені опорні частини та пустоти у вигляді усічених пірамід однакового розміру і направлених меншою основою вглиб вертикального і фундаментного елементів. Під підшовною фундаментної плити та з тильної сторони вертикального елемента розташовані два листа пружнопіддатливого матеріалу з біополімеру [7].

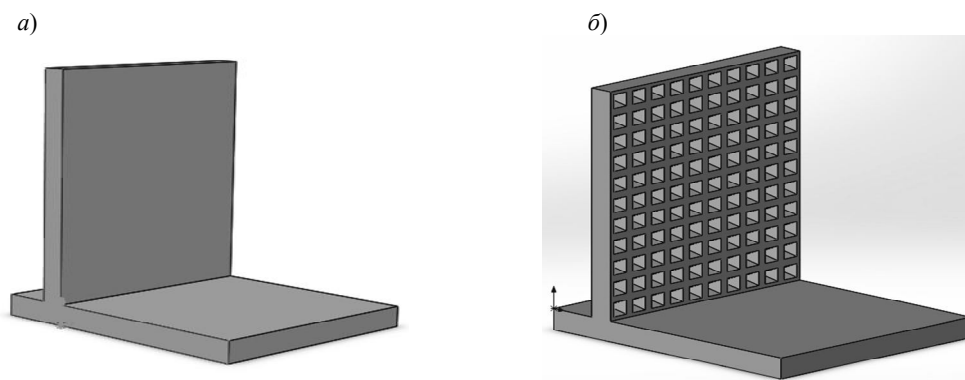


Рис. 1. Моделі підпірних стін: а – кутникова підпірна стіна; б – підпірна стіна спеціального типу

З розвитком деформуючого навантаження у часі, тобто з вертикальними і горизонтальними

переміщеннями ґрунту по відношенню до монолітної стіни кутникового типу, після її установки, відбувається поступове проникнення ґрунту в порожнини. Передчасне заповнення пустот не відбувається завдяки листам пружнопіддатливого матеріалу.

Конструктивне рішення моделі підпірної стінки спеціального типу має такий набір факторів, який є оптимальним для заданої основи.

Цифрова модель проектувалась з використанням програмного комплексу SolidWorks.

SolidWorks — продукт компанії SolidWorks Corporation (зараз — дочірня компанія Dassault Systèmes), САПР, інженерного аналізу та підготовки виробництва будь-якої складності та призначення.

SolidWorks є ядром інтегрованого комплексу автоматизації підприємства, за допомогою якого здійснюється підтримка життєвого циклу виробу згідно з концепцією CALS — технологій, включаючи двонаправлений обмін даними з іншими Windows-застосунками та створення інтерактивної документації [8].

Прототипом нового фундаменту-оболонки є складчастий фундамент у вигляді окремих тонкостінних залізобетонних складок, що з'єднуються між собою по верху сталеву чи залізобетонною балкою [9]. Альтернативною конструкцією фундаменту був складчастий фундамент, що складається з шести окремих тонкостінних призматичних залізобетонних складок, три з яких розташовані симетрично іншим трьом відносно осі опори ЛЕП. Дві крайні призматичні складки з'єднуються по верху з двома допоміжними залізобетонними балками за допомогою металевих шарнірного закріплення. Третя призматична складка з'єднується з першими двома через опорну залізобетонну балку, з однієї сторони опорна балка кріпиться до складки за допомогою металевих шарнірного закріплення, з іншої сторони опорна балка кріпиться безпосередньо до допоміжних залізобетонних балок за допомогою болтового з'єднання (рис. 2).

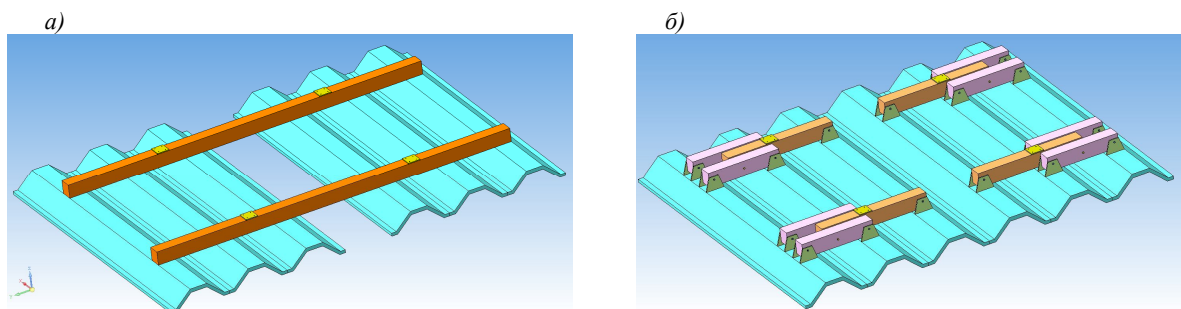


Рис.2. 3D моделювання конструкції складчастого фундаменту: а – модель прототипного фундаменту; б – модель альтернативної конструкції фундаменту

Заявлена конструкція фундаменту реалізується за рахунок особливості сумісної роботи конструктивних елементів складчастого фундаменту. Завдяки застосуванню шарнірного з'єднання призматичних складок з опорними балками досягається більш рівномірне розподілення зовнішнього навантаження на елементи фундаментної системи. Порожнини складок мають призматичну форму, що забезпечують утворення ущільненого ядра визначеної величини і здійснюють перерозподіл тиску на основу [10,11].

Комп'ютерне моделювання фундаментів виконувалось в прикладному програмному комплексі КОМПАС 3D V16, звідки було вилучено всі елементи фундаменту для їх подальшого друку на 3D принтері. КОМПАС 3D V16 – це система тривимірного проектування з потужними функціональними можливостями твердотільного і поверхневого моделювання [12]. Зручність цього програмного комплексу полягає у підтримці найбільш поширених форматів 3D-моделей (STEP, ACIS, IGES, DWG, DXF), що дозволяє організувати ефективний обмін між програмними комплексами, що використовують будь-які CAD / CAM / CAE-системи в роботі. Однією з особливостей програми є використання додатку АРМ FEM, призначене для виконання експрес-розрахунків твердотільних об'єктів в системі КОМПАС-3D, і візуалізації результатів цих розрахунків. Це дозволить у майбутньому виконати необхідні розрахунки конструкції безпосередньо у тілі програмного комплексу КОМПАС-3D. До складу АРМ FEM входять інструменти підготовки деталей і зборок до розрахунку, завдання граничних умов і навантажень, а також вбудовані генератори звичайно-елементної сітки (як з постійним, так і зі змінним кроком) і постпроцесор. Цей функці-

ональний набір дозволяє змоделювати твердотільний об'єкт і комплексно проаналізувати поведінку розрахункової моделі при різних впливах з точки зору статички, стійкості та ін. Для створення кінцево-елементного представлення об'єкту в АРМ FEM передбачена функція генерації KE-сітки, при виклику якої відбувається відповідне розбиття об'єкта із заданим кроком. Якщо створена розрахункова модель має складні нерівномірні геометричні переходи, то може бути проведено так зване адаптивне розбиття. Для того щоб результат процесу був більш якісним, генератор KE-сітки автоматично (з урахуванням заданого користувачем максимального коефіцієнта згущення) варіює величину кроку розбиття.

Згідно до теорії подібності необхідно дотримуватись геометричній подібності натурної конструкції фундаменту та моделі фундаменту. Тому всі геометричні розміри моделі фундаменту для проведення лоткового експерименту було зменшено в 50 разів. У висновку ми отримали модель фундаменту розмірами у плані 245×200 мм, і висотою 22 мм.

Для виготовлення моделей фундаментів було вирішено використовувати саме пластик, а не матеріал натурального фундаменту. Це пов'язано з тим, що метою лоткових досліджень було вивчення не міцнісних характеристик фундаменту в цілому, а характеру його роботи сумісно із ґрунтом основи.

Створення моделі фундаменту виконувалося за допомогою використання технології 3D друку. Елементи фундаменту роздруковувалися на 3D принтері XYZprinting da Vinci 1.0 Pro із пластику з відомими характеристиками (діаметр нитки – 1,75 мм; овальність - +/- 0,03; щільність (густина) – 1250 кг/м³; в'язкість плавлення – 2000 Па·с; точка плавлення – 230 С°; стійкість до згину – 20 разів; технологія друку – FDM). Всі елементи фундаменту склеювалися за допомогою спеціального клею; деталі, в яких необхідно було зберегти шарнірні з'єднання, поєднувалися за допомогою металевих стрижнів необхідного діаметру.

Перший комплект деталей був виготовлений для моделювання прототипу складчастого фундаменту. Тут опорна балка має жорстко поєднуватися з всіма шістьма складками фундаменту (рис. 3 а). Другий комплект був виготовлений для моделювання оптимальної конструкції складчастого фундаменту (рис. 3 б).

а)



б)



Рис.3. Моделі конструкцій фундаменту з пластику у зібраному вигляді: *а* – модель прототипної конструкції складчастого фундаменту; *б* – модель оптимальної конструкції складчастого фундаменту

Моделі підпорних стін виготовлялися із застосуванням методу пошарового створення фізичного об'єкта по цифровій 3D-моделі. Для цього був використаний 3D-принтер Graber i3 [13] (рис. 4 а, б).

а)



б)

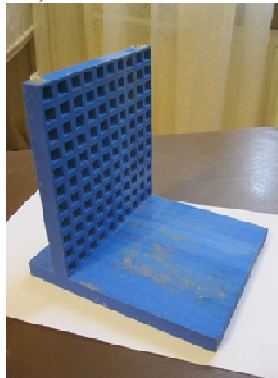


Рис. 4. Фізичні моделі підпорних стін: *а* – кутникова підпірна стіна; *б* – підпірна стіна спеціального типу

Висновки та напрямок подальших досліджень. Фізичне моделювання дозволяє розробнику створювати моделі, які можуть бути використані багаторазово. Можливість імпортувати дані і моделі з інших середовищ розробки допомагає забезпечити точність моделей. Завдяки інтеграції цих моделей з алгоритмами управління і обробки сигналів розробник може перевірити помилки інтеграції на початку процесу проектування. Використовуючи положення теорії подібності, були виготовлені фізичні моделі підпирних стін і фундаментів-оболонки, що мають характеристики жорсткості та міцності відповідні натурним конструкціям. Надалі це дозволить вивчити процес контактної взаємодії цих конструкцій та деформованої основи, а також отримати математичні закономірності їх спільної роботи.

Список літератури

1. **Богатынский А.В.** Использование расчётного комплекса Nastran для решения контактной задачи улучшенного круглого фундамента / **Богатынский А.В., Тимченко Р.О., Кришко Д.А.**, // Строительство, материаловедение, машиностроение//Сб. научн. трудов. Вып. 94. – Днепр: ДВНЗ ПДАБА, 2016. – с.12-17
2. **Тимченко Р.А.** Осадки фундаментных конструкций на нелинейно-деформируемых основаниях / **Р.А. Тимченко, Д.А. Кришко** / Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг: КТУ, 2012. – Вип. 29. – С. 110-114.
3. **Гатапова Н.Ц.** Основы теории и техники физического моделирования и эксперимента [Электронный ресурс]: учебное пособие / **Н.Ц. Гатапова, А.Н. Колиух, Н.В. Орлова, А.Ю. Орлов.** – Тамбов, 2014. – 77 с.
4. **Козлов В. П.** О переходных коэффициентах при моделировании взаимодействия подрабатываемых сооружений с основанием на естественном грунте /**В. П. Козлов**// Сборник науч. труд. в ДонпромстройНИИ проекта. – 1965. – № 6. – С. 31-43.
5. **Кирпичев М. В.** Теория подобия // **М. В. Кирпичев**. – М.: Издательство АН СССР. – 1953 – 94 с.
6. **Седов Л. И.** Методы подобия и размерности в механике. // **Л. И. Седов** / – М.: Государственное издательство технической литературы. – М.: 1954. – 326 с.
7. Пат. UA 100212 U Україна, МПК E02D 29/02. Монолітна підпірна стінка кутникового типу. **Тимченко Р. О., Кришко Д. А., Савенко В. О., Настич О. Б.** (Україна). – UA 100212 U; Заявл. 26.02.2015; Опубл. 10.07.2015, Бюл. № 13. – 4 с.
8. <https://uk.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>
9. **Тетиор А.Н.** Проектирование и сооружение экономичных конструкций фундаментов / **А.Н. Тетиор.** – Киев: Изд-во «Будівельник», 1975. – 204 с.
10. **Тимченко Р.О.** Конструктивне рішення багатошарового фундаменту-оболонки під водоскидні споруди шламосховища / **Тимченко Р.О., Кришко Д.А., Хоруженко І.В.** // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Механіка ґрунтів та фундаментобудування» - Вип.83: В 2-х кн.: Книга 2. – Київ, ДП НДІБК, 2016. – С. 674-678
11. **Тимченко Р.А.** Совершенствование фундаментов-оболочек для высотных сооружений / **Р.А.Тимченко, В.В. Васильченко** // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг: КТУ, 2003. – Вип. 1. – С. 104-107.
12. <http://kompas.ru>
13. https://uk.wikipedia.org/wiki/Prusa_i3

Рукопис подано до редакції 13.04.2018

УДК 622.272: 622.354.3

А. В. КОСЕНКО, аспірант, Криворізький національний університет

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ ПОКЛАДІВ ПРИРОДНО-БАГАТИХ ЗАЛІЗНИХ РУД В УМОВАХ ВЕЛИКИХ ГЛИБИН

Мета. Доведення ефективності застосування на практиці ресурсозберігаючої технології підповерхового обвалення, на основі техніко-економічного порівняння з традиційною технологією, в залежності від потужності та коефіцієнту міцності рудного покладу, що розробляється.

Методи. Конструктивно-функціональний аналіз варіантів технології підповерхового обвалення, чисельне та фізичне моделювання технологічного процесу випуску руди під обваленими пустими породами, економіко-математичне моделювання і порівняльна оцінка варіантів системи розробки.

Наукова новизна. Показники вилучення чистої руди з обвалених запасів очисних панелей визначаються в залежності від глибини та інтенсивності ведення очисних робіт, коефіцієнту міцності рудного покладу та його потужності.

Практична значимість. Отримані аналітичні залежності економічної ефективності від потужності рудного покладу та коефіцієнту міцності руди при впровадженні на практиці ресурсозберігаючої технології підповерхового обвалення, що дасть змогу окреслити найефективнішу область застосування розроблених проектних рішень.

Результати. Незважаючи на великі амортизаційні відрахування та інші витратні показники ресурсозберігаючої технології очисного виймання з використанням сучасної самохідної гірничої техніки, було доведено ефективність її

впровадження на практиці. Так як у порівнянні з базовою вона дозволяє збільшити обсяг вилучення чистої руди на 4,6-14,4% в залежності від потужності, кута падіння і коефіцієнту міцності рудного покладу. Це дозволяє збільшити економічну ефективність від 6,8% до 57%, величина якої також залежить від гірничо-геологічних умов.

У процесі виконання досліджень також було встановлено, що варіант ресурсозберігаючої технології підповерхового обвалення є найбільш ефективним у процесі розробки середньої потужності та потужних покладів природно-багатих залізних руд Кривбасу. Так як застосування його дозволить значно збільшити вилучення чистої руди і знизити втрати її в надрах, а також збільшити інтенсивність очисного виймання багатих руд з більш високим вмістом заліза і зниженням її засмічення. А використання самохідної техніки дозволить покращити санітарно-гігієнічні умови праці гірників і підвищити безпеку ведення гірничих робіт.

Ключові слова: природно-багаті залізні руди; втрати руди; засмічення рудної маси; підповерхове обвалення; ресурсозберігаюча технологія; показники вилучення; інтенсивність випуску руди.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-70-75

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Розробка покладів природно-багатих залізних руд на шахтах Кривбасу здійснюється різними варіантами технології підповерхового обвалення, що обумовлено значною глибиною ведення гірничих робіт (1200-1400 м) [1-5]. Пониження глибини розробки супроводжується постійним зростанням показників втрат відбитої руди у надрах та засмічення рудної маси [6]. Ці показники вже перевищили нормативні і постійно погіршуються [7]. А основним технологічним процесом, який значним чином впливає на показники вилучення рудної маси, є випуск руди через горизонтальні днища приймальних горизонтів і її доставка в межах очисних блоків за допомогою переносного стаціонарного гірничого обладнання [7, 8]. Тому пошук можливих технологічних рішень, що забезпечать підвищення показників вилучення руди у процесі розробки покладів природно-багатих залізних руд у складних геомеханічних умовах є головним науково-практичним завданням.

Аналіз досліджень і публікацій. У ході проведеного аналізу теорії і досвіду застосування системи розробки підповерхового обвалення [1,2,4,6,9-12] було встановлено, що резерви подальшого конструктивного і технологічного вдосконалення її на основі застосування стаціонарного та переносного обладнання в умовах значних глибин практично вичерпані. Експлуатація продуктивних горизонтів шахт Кривбасу з видобутку природно-багатих залізних руд супроводжується низькою інтенсивністю ведення очисних робіт, яка коливається в межах 1,2-1,8 т / м² на добу [8]. Що дає можливість формування компенсаційних камер лише в межах 8-12% від об'ємів основного запасу виймальних одиниць, за умови їх стійкості протягом всього терміну існування [12]. Тому відбірка руди здійснюється практично в затисненому середовищі, що сприяє, на значних глибинах, розвитку запресовування сипкого матеріалу [13-15]. Так як глибина розробки вносить корективи не лише в напружено-деформований стан (НДС) породного масиву, але і в НДС відбитої рудної маси [15]. Зокрема впливає на її сипкі властивості, від яких залежить ефективність процесу випуску. Зміна сипких властивостей відбитої руди і породи з глибиною розробки пов'язано з розвитком процесів ущільнення, злежування і запресовування в очисних вибоях.

Підвищення злежування сипкого матеріалу обумовлено інтенсифікацією технологічного процесу випуску [8,14,16] і наявністю глинистих, карбонатних та глинисто-карбонатних мінералів [15]. Процес ущільнення пояснюється зростанням гірського тиску сипкого матеріалу за рахунок гравітаційних сил, гранулометричним складом та збільшенням виборчого стирання кусків відбитої руди і обвалених порід, що сприяють підвищенню щільності їх упаковки [15]. В результаті чого створюються обмежені умови для випуску руди, що зумовлюють виникнення сил зчеплення [13-15].

Зарубіжний досвід підземної розробки родовищ корисних копалин свідчить про те, що істотне підвищення продуктивності праці на технологічному процесі випуску та доставки руди неможливо без застосування самохідної техніки [6,8-12,16]. Але її масштабному застосуванню на значних глибинах Кривбасу суперечать складні геомеханічні умови [6,8,12,16]. Тому ефективним способом збільшення продуктивності технологічного процесу випуску та доставки руди в цьому випадку є застосування комбінованого способу за допомогою комплексу «багатоковшеві скреперні лебідки 55ЛС-2С – самохідна навантажувально-доставочна машина TORO 400E» [8, 16]. Продуктивність даного комплексу за середніх умов може досягати 1200-1400 т/зміну, що забез-

печує інтенсивність випуску руди в межах 5,5-6,0 т/м² на добу [16]. Даний спосіб доставки добре реалізується в ресурсозберігаючій технології підповерхового обвалення [12].

Проведені у роботі [17, с. 37-44] дослідження показують, що можливо забезпечити збільшення об'ємів компенсаційних (очисних камер) завдяки підвищенню інтенсивності технологічних процесів очисного виймання. Це дозволить збільшити кількість чистої руди природної якості, що позитивно вплине на показники вилучення [18, 19]. Також у роботах [7, 20-22] встановлено, що застосування лінійно-паралельного почерговими лінійними зонами рівномірних доз режиму випуску дозволить збільшити показники вилучення чистої руди на 8,4-10,5%. У цьому випадку оптимальні показники вилучення забезпечуються інтенсивністю технологічного процесу випуску руди на рівні 5,5-6,0 т/м² за добу [20,21].

Постановка завдання. Головною метою цієї роботи є доведення ефективності застосування на практиці ресурсозберігаючої технології підповерхового обвалення, на основі техніко-економічного порівняння з традиційною технологією, в залежності від потужності та коефіцієнту міцності рудного покладу, що розробляється.

Викладення матеріалу та результати. Для встановлення ефективності від впровадження сучасної технології із застосуванням самохідної гірничої техніки [12] її було порівняно з традиційною на основі техніко-економічної оцінки. Для цього були обрані умови відпрацювання блоку в осях 136-142 покладу «Основний-95» шахти «Родіна» ПАТ «Кривбасзалізрудком» [23].

Розробка покладу потужністю 100 м ведеться на глибині 1390-1345 м від висячого до лежачого боку очисними панелями з розмірами: за потужністю 25 м; за простяганням 30 м; висотою 40 м. Балансові запаси руди в очисній панелі складають у середньому 111000 т. Поклад II класу розробки, представлений рудами з коефіцієнтом міцності $f = 4-6$ за шкалою професора М. М. Протодьяконова, а породи, що його вміщують: з лежачого боку – $f = 5-7$; з висячого боку – $f = 7-9$. Кут падіння рудного покладу коливається в межах 35-55°. Випуск руди здійснюється до початку засмічення.

Відпрацювання виймальних одиниць очисних блоків традиційним варіантом технології підповерхового обвалення здійснюється на базі застосування стаціонарного переносного гірничого обладнання [23]. Інтенсивність випуску руди у цьому випадку складає в середньому 1,5 т/м² за добу [8] і здійснюється за допомогою рівномірно-последовного режиму.

У процесі розробки частини рудного покладу ресурсозберігаючою технологією очисного виймання [12] застосовується таке обладнання: бурові каретки типу Boomer 104 (Atlas Copco) і навантажувально-доставочна машина типу EST-2D (Atlas Copco) для проходки горизонтальних гірничих виробок; станок Rhino 1298 DC (Sandvik) для проходки вертикальних і похилих підняткових виробок; установка Solo-5-7P (Sandvik Mining) для буріння глибоких свердловин; багатоковшеві скреперні лебідки 55LC-2C («Компани Плазма») у комплексі із самохідною навантажувально-доставочною машиною TORO 400E (Atlas Copco) для доставки руди [8], що дозволяє інтенсифікувати процес випуску на рівні 5,5-6,0 т/м² за добу [16]. Кріплення гірничих виробок здійснюється за допомогою анкерів із затягуванням металічними тросами і сіткою з використанням склопластикових ресорних підхватів [24]. Вилучення руди із обвалених запасів очисних панелей здійснюється за допомогою лінійно-паралельного почерговими лінійними зонами рівномірних доз режиму випуску [22].

Показники вилучення розраховувались на основі отриманих даних чисельного [20,21] і фізичного моделювання [22] технологічного процесу випуску. Техніко-економічні розрахунки були виконані з урахуванням діючих цін на матеріали і обладнання [23, 25, с. 203-209] та заробітної плати гірників, за методикою, яка викладена у роботі [24, с. 190-211] і за допомогою розробленої економіко-математичної моделі [26]. Ефективність доводилась по факту реалізації видобутої руди на ринку на основі собівартості видобутку (франко-люк). Так як витрати, які входять у загальну шахтну собівартість, за винятком франко-люк, для обох розглянутих варіантів вважались однаковими.

За результатами проведених розрахунків були побудовані графіки залежності показників вилучення чистої руди (рис. 1, 2) і економічної ефективності ресурсозберігаючої технології підповерхового обвалення, у порівнянні з традиційною (рис. 3), від потужності рудного покладу для різних коефіцієнтів міцності рудного масиву.

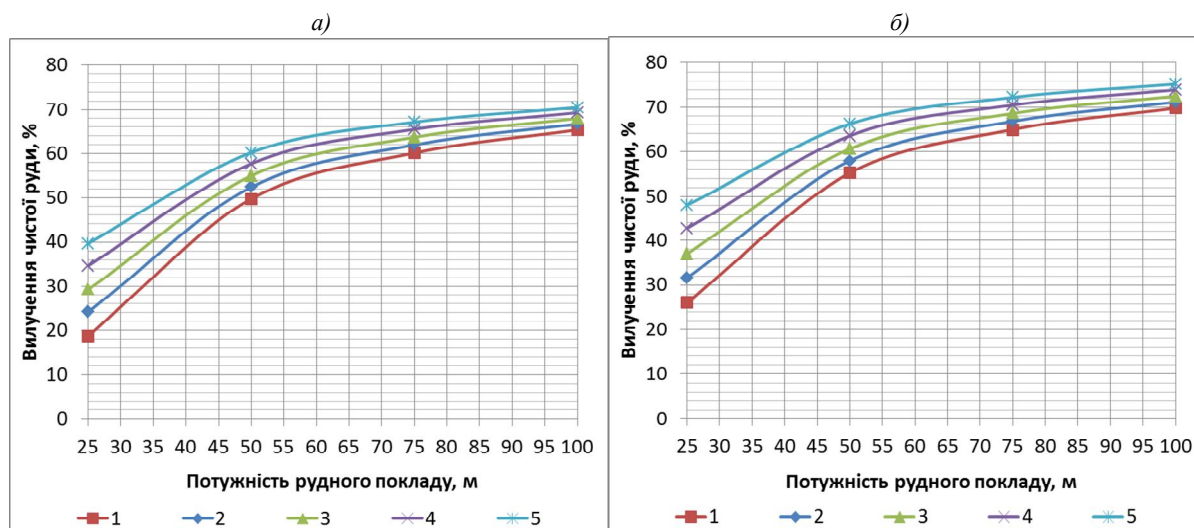


Рис. 1. Графіки залежності вилучення чистої руди від потужності рудного покладу з коефіцієнтом міцності $f=4$: *а* – традиційна технологія підповерхового обвалення; *б* – комбінована ресурсозберігаюча технологія підповерхового обвалення; 1 – кут падіння рудного покладу 35° ; 2 – кут падіння рудного покладу 40° ; 3 – кут падіння рудного покладу 45° ; 4 – кут падіння рудного покладу 50° ; 5 – кут падіння рудного покладу 55°

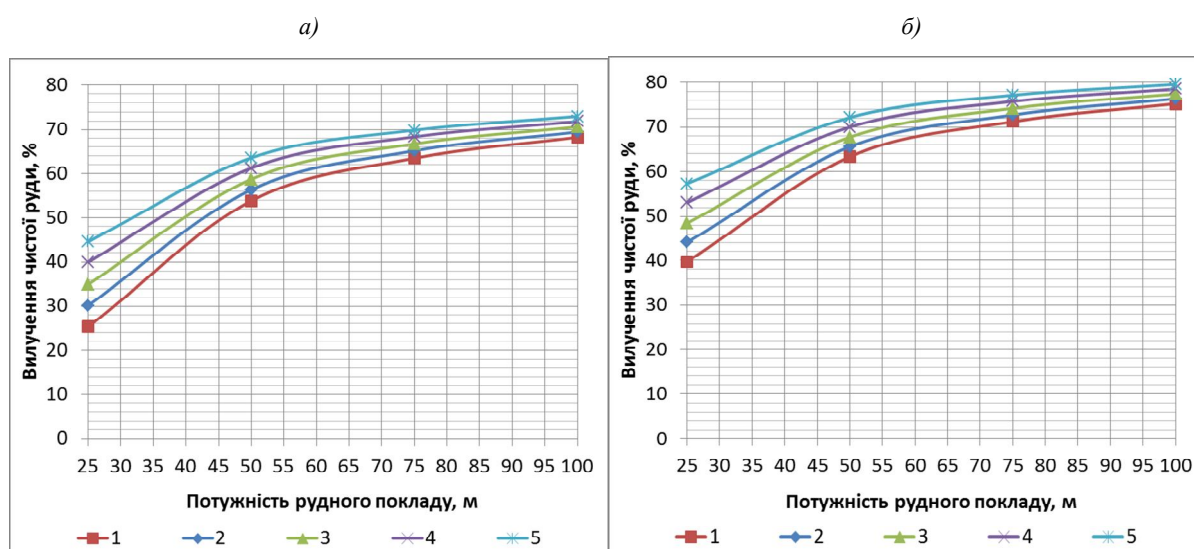


Рис. 2. Графіки залежності вилучення чистої руди від потужності рудного покладу з коефіцієнтом міцності $f=6$: *а* – традиційна технологія підповерхового обвалення; *б* – комбінована ресурсозберігаюча технологія підповерхового обвалення; 1 – кут падіння рудного покладу 35° ; 2 – кут падіння рудного покладу 40° ; 3 – кут падіння рудного покладу 45° ; 4 – кут падіння рудного покладу 50° ; 5 – кут падіння рудного покладу 55°

З графіків (рис. 1, 2) видно, що величина різниці вилучення чистої руди ресурсозберігаючою технологією підповерхового обвалення зменшується, у порівнянні з традиційною, в залежності від потужності рудного покладу. Це пояснюється тим, що втрати руди у гребенях між випускними виробками і у трикутнику лежачого боку рудного покладу є постійними.

З графіків (рис. 3) видно, що економічна ефективність ресурсозберігаючої технології підповерхового обвалення зменшується в залежності від потужності рудного покладу. Максимальне значення якої досягає 57% у процесі відпрацювання рудних покладів потужністю в середньому 25 м. Це пояснюється тим, що з підвищенням інтенсивності випуску руди до 5,5-6,0 т/м² за добу можливо збільшити об'єми компенсаційних камер, у цьому випадку, на 8-16% в залежності від міцності рудного покладу, збільшивши коефіцієнт розпушення відбитої руди. І, у випадку створення максимального коефіцієнту розпушення, дозволяє зменшити висоту шару руди над виробками випуску. А застосування лінійно-паралельного почерговими лінійними зонами рівномірних доз режиму випуску з чотирьох випускних виробок дозволяє зменшити втрати руди у гребенях між ними та у трикутнику лежачого боку.

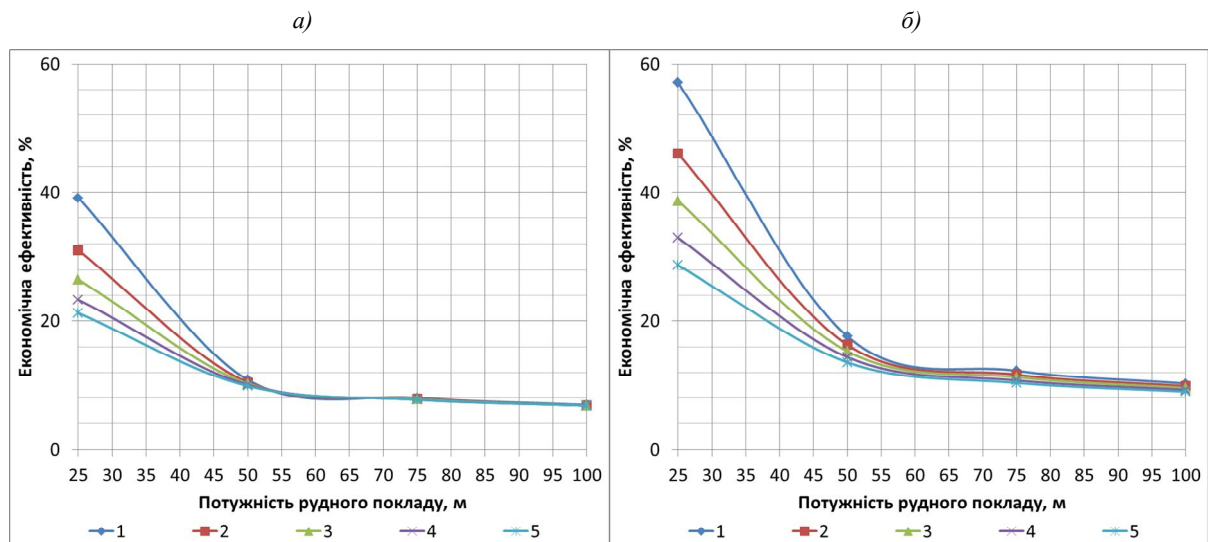


Рис. 3. Графіки залежності економічної ефективності розробленої ресурсозберігаючої технології підповерхового обвалення від потужності рудного покладу: *a* – коефіцієнт міцності руди $f = 4$; *b* – коефіцієнт міцності руди $f = 6$; 1 – кут падіння рудного покладу 35° ; 2 – кут падіння рудного покладу 40° ; 3 – кут падіння рудного покладу 45° ; 4 – кут падіння рудного покладу 50° ; 5 – кут падіння рудного покладу 55°

Висновки та напрямок подальших досліджень. Отже, незважаючи на великі амортизаційні відрахування та інші витратні показники ресурсозберігаючої технології очисного виймання з використанням сучасної самохідної гірничої техніки, було доведено ефективність її впровадження на практиці. Так як у порівнянні з базовою вона дозволяє збільшити обсяг вилучення чистої руди на 4,6-14,4% в залежності від потужності, кута падіння і коефіцієнту міцності рудного покладу. Це дозволяє збільшити економічну ефективність від 6,8% до 57%, величина якої також залежить від гірничо-геологічних умов.

Таким чином, розроблений варіант ресурсозберігаючої технології підповерхового обвалення із застосуванням самохідної техніки є найбільш ефективним у процесі розробки середньої потужності та потужних покладів природно-багатих залізних руд Кривбасу. Так як застосування його дозволить значно збільшити вилучення чистої руди і знизити втрати її в надрах, а також збільшити інтенсивність очисного виймання багатих руд з більш високим вмістом заліза і зниженням її засмічення. А використання самохідної техніки дозволить покращити санітарно-гігієнічні умови праці гірників і підвищити безпеку ведення гірничих робіт.

Подальші дослідження у рамках даної проблеми доцільно зосередити на вивченні показників вилучення у процесі розробки покладів природно-багатих залізних руд з різним коефіцієнтом міцності та потужністю від 15 до 25 м у діапазоні глибин 1300-1500 м. На основі чого окреслити найефективнішу область застосування ресурсозберігаючої технології підповерхового обвалення.

Список літератури

1. **Ступник Н. И.** Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды / **Н. И. Ступник, С. В. Письменный** // Вісник КНУ. – 2012. – Вип. 30. – С. 6-10.
2. **Письменный С. В.** Отработка сложноструктурных залежей богатых руд камерными системами разработки / **С. В. Письменный** // Гірничий Вісник. – 2014. – 97. – 3-7.
3. **Калиниченко В. А.** Методика исследования напряженного состояния горного массива при формировании компенсационных пространств / **В. А. Калиниченко, Е. К. Янов** // Вісник КНУ. – 2011. – Вип. 29. – С. 6-10.
4. Технология очистной выемки с учетом геомеханических процессов, возникающих на глубинах ниже 1200 м / **Ф. И. Караманиц, В. С. Ричко, К. Л. Прокопенко** [и др.] // Разработка рудных месторожд. – 2005. – Вип. 88. – С. 75-80.
5. **Сиротюк С. И.** Геомеханическое обоснование возможности использования системы разработки с самообрушением руды на шахтах Кривбасса / **С. И. Сиротюк** // Разработка рудных месторождений. – 2011. – Вип. 94. – С. 3-6.
6. **Федько М. Б.** Підвищення якості рудної маси при вдосконаленні системи розробки підповерхового обвалення руди на підконсольний компенсаційний простір / **Федько М. Б., Зенюк Д. Ф.** // Качество мінерального сиров'язь. – 2011. – С. 258-260.
7. **Тарасютін В. М.** Фізичне моделювання технологічного процесу випуску руди для умов глибоких горизонтів

шахт Кривбасу / **Тарасютін В. М., Косенко А. В.** // Розвиток промисловості та суспільства: Міжнародна науково-технічна конференція (м. Кривий Ріг, Україна, 24-26 травня 2017 року). – Кривий Ріг: КНУ – 2017. – С. 67.

8. **Kosenko A. V.** Improving the efficiency of production process and shipping ore on the basis of the use of self-propelled load-delivery machines technology / **Kosenko A. V.** // «Science in 2018»: proceedings of XIV International scientific conference (USA, Morrisville, Jan 26 2018). – Morrisville, 2018. – Pp. 6-9.

9. **Brown E. T.** Block Caving Geomechanics / **E.T. Brown.** – Queensland, 2002. – 515 p.

10. **Ступник Н. И.** Пути совершенствования технологии подземной разработки богатых руд Кривбасса / **Н. И. Ступник, М. И. Кудрявцев, А. М. Басов** // Вісник Криворізького технічного університету. – 2010 – Вип. 26. – С. 23-26.

11. Дослідження та удосконалення технології відпрацювання покладів з застосуванням самохідної доставочної техніки / **В. О. Калініченко, Н. Ю. Швагер, С. М. Чухарев** [та ін.] // Гірничий Вісник: науково-технічний збірник. – 2015. – Вип. 99. – С. 100-104.

12. **Тарасютін В. М.** Ресурсосберегающие технологии очистной выемки богатых железных руд на глубоких горизонтах шахт / **Тарасютін В. М., Косенко А. В.** // Вісник КНУ. – 2017. – Вип. 44. – С. 85-92.

13. **Черкокур В. Р.** Добыча руды с поэтажным обрушением / **В. Р. Черкокур, Г. С. Шкробко, В. И. Шелегда.** – М.: Недра, 1992. – 271 с.

14. **Черненко А. Р.** Подземная добыча богатых железных руд / **А. Р. Черненко, В. А. Черненко.** – М.: Недра, 1992. – 224 с.

15. **Неверов С. А.** Особенности влияния глубины горных работ на параметры выпуска руды под обрушенными породами / **С. А. Неверов, С. Ю. Васичев** // Форум гірників – 2012 : матеріали міжнар. конф., (Дніпропетровськ, 3-6 жовтня 2012 р.). – Дніпропетровськ, 2012. – Т. 1. – С. 98-103.

16. **Kosenko A. V.** Definition and justification of rational parameters of technological schemes of delivery ore mass in the process of development of natural-rich iron ore of Krivbass / **Kosenko A. V.** // «Scientific research in 2018»: proceedings of XV International scientific conference of students and young scientists (Kramatorsk, Feb 9th 2018). – Vinnytsya, 2018. – Pp. 85-89.

17. Разработка и внедрение рациональных вариантов технологии очистной выемки залежей богатых железных руд на глубоких горизонтах шахт с использованием самоходного горного оборудования: отчет о НИР по теме 1-9-14 / ГВУЗ «КНУ»: рук. темы **В. М. Тарасютін**; исполн.: **Б. Н. Радионенко, Е. Я. Кибенко, А. В. Косенко, Н. В. Наумова.** – Кривой Рог: Фонд ГВУЗ «КНУ», 2014. – 150 с. – №ГР114U003772 – Инв. № 02970003076.

18. **Письменный С. В.** Отработка сложноструктурных залежей богатых руд камерными системами разработки / **Письменный С. В.** // Гірничий Вісник: науково-технічний збірник. 2014. Вип. 97. С. 3-6.

19. Проблемы геотехнологических процессов комплексного освоения суперкрупных рудных месторождений / под. ред. **К. Н. Трубецкого, Д. Р. Каплунова.** Москва: ИПКОН, 2005. – 248 с.

20. **Косенко А. В.** Визначення впливу інтенсифікації технологічного процесу випуску рудної маси на величину тиску в межах фігури випуску на основі комп'ютерного моделювання / **А. В. Косенко** // Молодий вчений. – 2017. – №9. – С. 455-458.

21. **Косенко А. В.** Комп'ютерне моделювання технологічного процесу випуску руди для умов розробки покладів природно-багатих залізних руд різної міцності / **А. В. Косенко** // Молодий вчений. – 2017. – №10. – С. 59-64.

22. **Калініченко В. О.** Дослідження показників вилучення руди на основі фізичного моделювання її випуску для умов глибоких горизонтів шахт Кривбасу / **Калініченко В. О., Косенко А. В., Хівренко О. Я.** // Качество минерального сырья. – 2017. – Т.1 – С. 143-155.

23. Проект № 192-23-15 нарезки и отработки залежи «Основная – 95» в осях 136-142 эт. 1390-1315 м в поле шахты «Родина»// ПАО «Кривбассжелезорудком» шахта «Родина». Кривой Рог. 2015.

24. **Кузьмин Е. В.** Современные тенденции в технологии подземной разработки рудных месторождений / **Кузьмин Е. В.** // Международная конференция «Технологии подземной разработки месторождений полезных ископаемых» – М. – 2015. – С. 2-4.

25. **Коновенко М. М.** Вибір і розрахунок систем підземної розробки рудних родовищ : навч. посіб. / **М. М. Коновенко, О. Є. Хоменко, В. Ю. Усатий.** – Дніпропетровськ: НГУ, 2013. – 217 с.

26. **Косенко А. В.** Удосконалення та обґрунтування проектних рішень у разі застосування самохідної навантажувально-доставочної техніки на технологічному процесі доставки рудної маси (на прикладі шахти «Октябрська» ПАТ «Кривбасзалізрудком») [Текст] / **А. В. Косенко** // Молодий вчений. — 2017. — №2 (42). – С. 183-190.

Рукопис подано до редакції 27.03.2018

УДК 331.454:614.8(4/9)

Н.Ю. ШВАГЕР, д-р техн. наук, проф., Д.П. ЗАЙКІНА, аспірант
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ОХОРОНОЮ ПРАЦІ ЗАРУБІЖНИХ КРАЇН

Мета. Метою даної статті є розгляд підходів до удосконалення управління охороною праці на українських промислових підприємствах за рахунок аналізу існуючих систем управління охороною праці на основі кращих світових практик.

Методи дослідження. В основі підходу до визначення цілей модернізації системи управління охороною праці в промислово розвинених країнах лежить розуміння того, що жодне підприємство не може обмежуватися турботою

про виробництво товарів або послуг, не турбуючись про умови безпеки праці, здоров'я і благополуччя своїх працівників. І це відбувається не тільки через гуманні міркування, але також через розуміння прямого або непрямого впливу умов праці на ефективне функціонування працівників.

Наукова новизна. У статті проведено порівняльний аналіз систем управління охороною праці зарубіжних країн. Кількість нещасних випадків та професійної захворюваності є основним компонентом, який показує ефективність функціонування системи управління охороною праці на виробництві.

Практична значимість. Обґрунтування вибору методів удосконалення управління охороною праці.

Результати. Аналіз організації роботи з охорони праці на рівні підприємств свідчить про те, що вона складається на базі спільних зусиль адміністрації та працюючих. У розвинених країнах відповідальність за законом за створення безпечних умов праці лежать на першому керівнику, який видає накази, організовує і контролює всю діяльність на підприємстві, в тому числі і з охорони праці. Перший керівник делегує свої владні повноваження з питань охорони праці конкретній особі з управлінського персоналу, який повинен організувати роботу з охорони праці. Крім того, створюються спеціальні служби безпеки та гігієни праці.

Ключові слова: шкідливі та небезпечні умови праці, нещасний випадок, професійна захворюваність, професійна патологія, причини нещасних випадків, виробничий процес, процедура ідентифікації та управління ризиків, СУОП.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-75-79

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Важливість системного вирішення питань у сфері охорони праці об'єктивно визначається загально-низьким рівнем безпеки праці в Україні. Необхідною умовою вирішення цих питань є ефективне комплексне управління охороною праці та промисловою безпекою.

Створення належних умов праці на кожному робочому місці, безпека та охорона праці стали найактуальнішими проблемами управління охороною праці, оскільки має місце високий рівень захворюваності та смертності серед осіб працездатного віку, підвищений рівень виробничого травматизму, в тому числі й з летальними наслідками [1].

Аналіз досліджень та публікацій. За останні 15 років у світі напрацьовано великий досвід з розробки та впровадження системного підходу в галузі охорони праці, розробки та впровадження методик, спрямованих на формування «запобіжних дій», що сприяють підвищенню безпеки виробничих процесів за рахунок виключення переростання небезпечних ситуацій в небезпечні події [1].

Постановка завдання. Метою даної статті є розгляд основних підходів до удосконалення організації охорони праці на українських промислових підприємствах за рахунок аналізу існуючих систем управління охороною праці на основі кращих світових практик (міжнародних стандартів ISO, IEC, BS, рекомендацій ILO) [1].

Викладення матеріалів та результати. Державна політика в галузі промислової безпеки здійснюється на основі відповідних законодавчих актів, виконання вимог яких контролюється компетентними органами. Нагляд держави за безпекою виробництва здійснюється практично в усіх країнах світу, і навіть у тих, які сьогодні перебувають на етапі розвитку. Правда, вирішується це завдання у кожній країні по-різному [1].

Так, у Європі все починалось 150 років тому – там система нагляду сформувалася в результаті довгої та жорсткої боротьби профспілок з роботодавцями за досить незначної участі держави. Саме тому багато європейських систем нагляду за охороною праці є дуже складними й громіздкими, а держава не завжди відіграє ключову роль у цьому процесі. Індивідуальність кожної з систем робить їх непридатними для копіювання в іншій країні. Проте досвід їх роботи дуже цікавий, і, можливо, деякі елементи можна використовувати і в українських умовах.

Розглянемо управління охороною праці в промислово розвинених країнах Європи, а також становлення цієї системи [2].

Законодавство у Великобританії вимагає, щоб роботодавці мали в розпорядженні відповідні заходи для управління і контролю безпеки та охорони праці на підприємстві. Для досягнення цих вимог роботодавці повинні мати ефективну систему управління охороною праці та безпеки, яка чітко визначена і точно задокументована.

Існує ряд систем управління охороною праці, які можуть бути застосовані, зокрема методична брошура ТБОЗ і ООС HS (G) 65 «Managing for health and safety», британський стандарт BS OHSAS 18001: 2007 «Occupational health and safety management systems - Requirements» і Міжнародне бюро праці ILO-OSH +2001 «Guidelines on occupational safety and health management systems». Кожна з цих систем управління заснована на моделі «план-дія-перевірка-акт», і втілює принцип постійного поліпшення [3].

Система управління охороною праці в цілому включає багато зацікавлених сторін, у які беруть участь у забезпеченні виконання або поліпшення стандартів безпеки та охорони праці. Серед зацікавлених сторін роботодавці, що працюють не за наймом, виробників, постачальників, працівників сторонніх організацій, ТБОЗ і ООС і органи місцевої влади [4].

Облік і аналіз стану охорони праці спрямовані на розробку і прийняття обґрунтованих рішень керівниками всіх рівнів.

В якості аналізованих використовуються дані про виробничий травматизм, причини нещасних випадків, професійної захворюваності, атестації робочих місць, приписи органів державного нагляду (рис. 1, табл. 1).

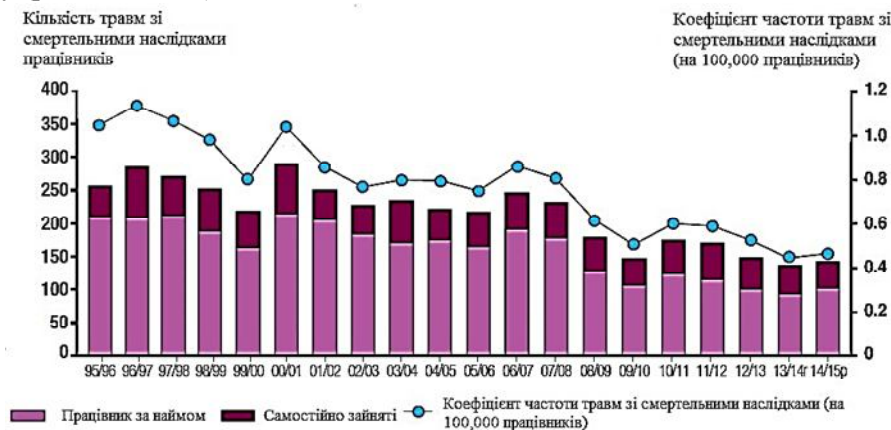


Рис. 1. Кількість і коефіцієнт частоти травм зі смертельними наслідками працівників (Великобританія)

Таблиця 1

Кількість і коефіцієнт частоти травм працівників (Великобританія)

Роки	Працівники по найму		Самостійно зайняті працівники		Працівники підприємства	
	кількість	коефіцієнт частоти на 100,000 працівників по найму*	кількість	коефіцієнт частоти на 100,000 самостійно зайнятих працівників по найму*	кількість	коефіцієнт частоти на 100,000 працівників підприємства по найму*
2010/11	122	0,49	53	1,25	175	0,60
2011/12	114	0,45	57	1,31	171	0,58
2012/13	99	0,39	51	1,13	150	0,50
2013/14 рр.	92	0,36	44	0,96	136	0,45
2014/15 рр.	99	0,38	43	0,89	142	0,46
П'ятирічний період (2009/10 - 2013/14 рр.)	106	0,42	50	1,14	156	0,53

* 2009/10 - 2013/14 коефіцієнти частоти були переглянуті (жовтень 2015 р.), як набори даних зайнятості, які переважають відображення оцінки чисельності і складу населення, які засновані на переписі 2011 року [5].

У Франції професійна техніка безпеки перебуває головним чином у сфері відповідальності Міністерства з питань праці, соціальних відносин, сім'ї, солідарності та розвитку міст [6].

Збільшення в сертифікованих компаній систем управління охороною праці (+ 20% / рік у Франції) [7].

Розподіл нещасних випадків на виробництві, нещасних випадків, що сталися з працівниками під час їх переміщення, пов'язаними з роботою і професійних захворювань, які спричинили втрату, що були предметом основного регламенту в 2014 році (рис. 2, 3).

У 2014 році були зареєстровані більше одного мільйона збитків від нещасних випадків та професійних захворювань, з яких 759 500 в результаті зупинки роботи: 82%, як нещасні випадки, 11%, як нещасні випадки, що сталися з працівниками під час їх переміщення, пов'язані з роботою, і 7% відповідно професійним захворюванням. Збитки від нещасних випадків та професійних захворювань які спричинили зупинення роботи становлять близько 70% від загальних збитків, у порівнянні 63% у 2008 році [8].

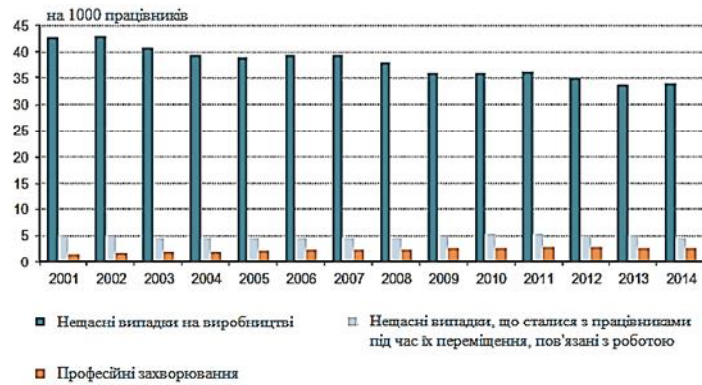


Рис. 2. Показник частоти нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань (Франція)

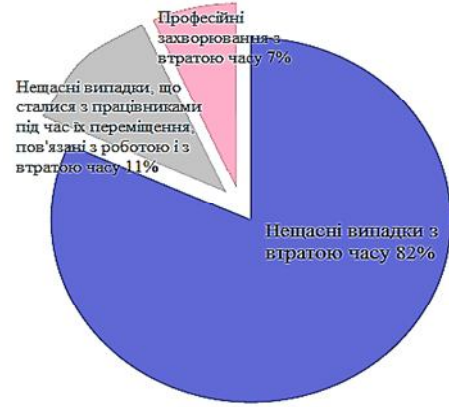


Рис. 3. Розподіл нещасних випадків (Франція)

Система управління охороною праці на робочому місці має подвійну структуру в Німеччині. Вона включає в себе державну безпеку і забезпечення здоров'я і страхування від нещасних випадків незалежно діючих установ.

Німеччина має всесвітню національну систему управління охороною праці, слідує конвенції Міжнародної організації праці (МОП). Німеччина ратифікувала 83 конвенції МОП, з яких 74 вступили в силу. 187 Конвенція МОП була ратифікована в 2010 році. Все законодавство з охорони праці погоджено з директивами ЄС. Спільна стратегія Німеччини з охорони праці (Gemeinsame Deutsche Arbeitsschutzstrategie, GDA) була розроблена, впроваджена і оцінена [9].

Німецька позиція зрозуміла: стандарт управління охороною праці буде, безперечно, сприяти роботодавцю в інтеграції безпеки та гігієни праці в існуючі управлінські структури (наприклад, коефіцієнт якості і управління діяльністю в галузі навколишнього середовища). І навпаки, вимоги, що стосуються стану безпеки та гігієни праці викладені в європейському та всесвітньому законодавстві, наприклад, у положеннях, прийнятими німецькими установами соціального страхування від нещасних випадків, і, отже, не відповідають змісту стандарту [10].

Спільна стратегія Німеччини з безпеки і охорони праці (GDA) є ініціативою німецького уряду, федерації ("Länder") та установи страхування від нещасних випадків. Союз прагне модернізувати німецьку систему управління охороною праці та стимулювати для компаній, щоб посилити безпеку та охорону праці робочого місця [11] (табл. 2).

Таблиця 2

Нещасні випадки на виробництві (Німеччина)

Рік	Звітні нещасних випадків на виробництві	Нещасні випадки на 1000 працівників з повною зайнятістю	Нещасні випадки на виробництві на 1000 застрахованих осіб	Нещасні випадки на виробництві на 1млн. працегодин	Смертельні випадки на роботі
2010	63,206	21,9	17,3	13,7	34
2011	61,064	20,8	16,1	13,1	33
2012	61,544	20,5	16,3	13,0	33
2013	59,445	18,9	15,7	12,2	24
2014	57,993	18,4	15,3	11,8	30
Зміна в порівнянні з попереднім роком	- 2,4%	- 2,6%	- 2,5%	- 3,3%	25%

Відповідальність за безпеку і охорони праці на робочому місці в Австрії розподілена між різними організаціями. Правовою основою здійснюється безпека і охорона праці в чинному документі (Arbeitnehmer Innen schutzgesetz) та правилами, які відповідають їм.

В Австрії, безпека та охорона праці розуміється як захист життів і здоров'я працівників на робочому місці. Основна ідея цієї концепції полягає в захисті фізичних осіб, які перебувають в ситуації, в якій вони фінансово залежать від свого роботодавця. Працюючі не за наймом тому зазвичай не підпадають під дію правил з безпеки і охорони праці [11].

Фінська система для безпеки та охорони праці на робочому місці була створена, як частина європейської інформаційної системи безпеки та охорони праці, у тому числі і національний координаційний центр в кожній державі-члені ЄС. Національний координаційний центр у Фінляндії координує і управляє національною системою управління охороною праці [11].

У Швейцарії існує два основних закони, що регулюють охорону праці. Закон про працю передбачає години роботи, охорони здоров'я, будівельні норми на робочому місці та охорону особистісної цілісності. Закон про страхування від нещасних випадків передбачає запобігання нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань, які викликані повною зайнятістю. Кантональні інспекції праці, SUVA (основний орган страхування від нещасних випадків) і Державний секретаріат з економічних питань (SECO), дотримуються законів. Координаційна комісія (EKAS) здійснює контроль і фінансує систему запобігання нещасних випадків [11].

У Польщі основний законодавчий акт, який передбачає право на безпечні та здорові умови праці, є конституція республіки Польща. Спосіб здійснення цього права встановлено законом, а саме, Трудовим кодексом. Регламентация основного кодексу в галузі охорони праці та безпеки міститься в X розділі зводу законів, Про основи охорони праці, в VII розділі охорони жінок на робочому місці, і в IX розділі охорони молодих людей на робочому місці. Організаційна система охорони праці може бути розділена на єдину державну систему. До перших відносяться парламент, уряд та інші державні установи, контролюючі та керуючі органи, які мають різні завдання. Органи нагляду і контролю включають в себе Національну інспекцію праці, Державну інспекцію охорони здоров'я, Управління технічного нагляду, суди і прокуратуру. Важливу роль організаційної системи охорони праці відіграє Ради з охорони праці, який приймає рішення у Сеймі Республіки Польща, і спостерігає за Державною інспекцією праці [11] (рис. 4).

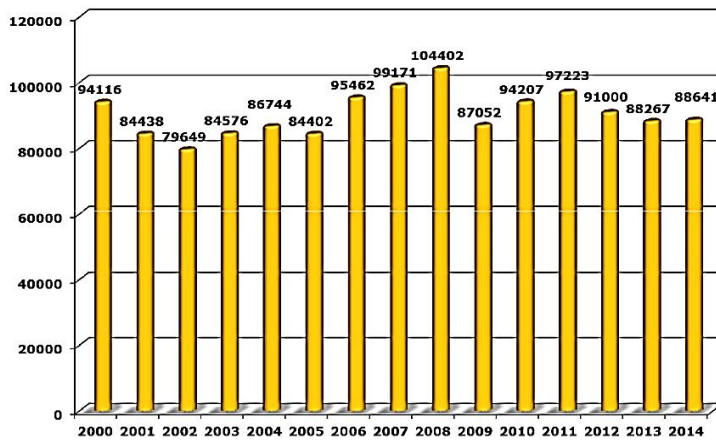


Рис. 4. Нещасні випадки на виробництві в період 2000-2014 рр. (Республіка Польща)

Наразі, Європейська комісія прийняла нову стратегічну програму з питань охорони праці та безпеки на робочому місці 2014-2020 рр., яка визначає основні завдання і стратегічні цілі для охорони праці та безпеки на робочому місці, представляє основні дії і визначає інструменти для їх вирішення.

Ця нова система спрямована на те, щоб ЄС як і раніше відігравав

провідну роль у просуванні високих стандартів для роботи і в Європі, і на міжнародному рівні, відповідно до Стратегії Європа 2020 [11].

Висновок та напрямок подальших досліджень. Однією з серйозних проблем в системах управління охороною праці промислових підприємств України є те, що вона в більшості випадків побудована на принципах «коригувальних дій», тобто реагування на небезпечні, випадки що вже трапилися, а не на принципах «запобіжних дій», тобто їх профілактики, що не дозволяє визначити найбільш важливі і першорядні профілактичні роботи з охорони праці і направляти на них в першочерговому порядку матеріальні та фінансові ресурси.

У результаті продовжують виникати нещасні випадки та небезпечні ситуації, що призводять до людських, матеріальних і фінансових втрат. Тому методи, які вживають Великобританія, Франція, Фінляндія і багато інших економічно розвинених країн для оптимізації управління охороною праці актуально на сьогоднішній день і для нашої країни.

Список літератури

1. «Охорона праці і пожежна безпека»: Виробн. - прак. журнал. К.: Вид. дім «МЕДІА-ПРО», – 2011. – № 10. – с. 22-24.
2. Тойшиєва А.К. Оптимизация СУОТ на производстве в современных условиях: маг. дис./ Тойшиєва Анар Калмаханкызы. – Алматы, 2014. - 82 с.
3. Wrightson, I. (2014). Occupational health and safety management systems. [WWW document]. URL http://www.rsc.org/images/Occupational-Health-and-Safety-Management-Systems_tcm18-240421.pdf
4. Health and Safety Executive (HSE) (2013). A guide to health and safety regulation in Great Britain. [WWW document]. URL <http://www.hse.gov.uk/pubns/hse49.pdf>
5. Health and Safety Executive (HSE) (2015). Health and Safety Statistics 2014/15. [WWW document]. URL <http://www.hse.gov.uk/statistics/overall/hssh1415.pdf>

6. Державна служба гірничого нагляду та промислової безпеки України (Держгірпромнагляд України) (2011, Серпень 10). Франція. [WWW document]. URL http://dnop.kiev.ua/web/index.php?option=com_content&task=view&id=6387&Itemid=137
7. DRAIS, E. (2014). The dynamics of culture in OSH management systems. Results from a comparative study in French companies. [WWW document]. URL https://www.researchgate.net/profile/Marc_Favaro/publication/260035452_DRAIS_E_FAVARO_M_The_dynamics_of_culture_in_OSH_management_systems_Results_from_a_comparative_study_in_FrFren_companies_International_Symposium_on_Culture_of_Prevention_-_Future_Approaches_-_Helsinki/links/0deec52f25fd9cbee7000000.pdf
8. Projet de Loi de Financement 2016 de la Sécurité Sociale Française (PLFSS) (2016). PROGRAMME DE QUALITÉ ET D'EFFICIENCE «AT-MP». [WWW document]. URL http://www.securite-sociale.fr/IMG/pdf/ministere_annexe_1_accidents_du_travail_0541_hd_int.pdf
9. World Health Organization (2012). Country Profile of Occupational Health System in Germany. [WWW document]. URL http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0010/178957/OSH-Profile-Germany.pdf
10. International Labour Organization (ILO) (2014). Safety and Health at Work: A Vision for Sustainable Prevention. [WWW document]. URL http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_301214.pdf
11. The Joint German Occupational Safety and Health Strategy (GDA) (2013). Work Programmes 2013-2018. [WWW document]. URL <http://www.gda-portal.de/en/AboutGDA/AboutGDA.html>

Рукопис подано до редакції 25.04.2018

УДК 622. 807

О.Є. ЛАПШИН, д-р техн. наук, проф., О.О. ЛАПШИН, д-р техн. наук, доц.,
Д.О. ЛАПШИНА, канд. техн. наук, ст. викладач, Криворізький національний університет

ПЕРСПЕКТИВА ПРОВІТРЮВАННЯ ПРИ ВІДКРИТО-ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ РОДОВИЩ ЗАЛІЗНИХ РУД

Стаття присвячена аналізу можливості застосування різних способів провітрювання кар'єрів і шахт при сумісній розробці родовищ залізних руд. Існуючий всмоктувальний спосіб провітрювання шахт має цілий ряд недоліків, таких як непродуктивні витoki повітря та можливість потрапляння шкідливих газів з кар'єру у гірничі виробки. Нагнітальний спосіб провітрювання шахт небезпечний потраплянням пилу і отруйних газів з шахт в кар'єрний простір. Комбінований спосіб потребує проведення додаткових вентиляційних виробок, головних вентиляторних установок і обладнання, що значно підвищить собівартість сировини та ускладнить управління вентиляцією усього гірничого комплексу.

Метою цього дослідження є запропонувати найбільш прийнятний спосіб провітрювання кар'єрів і шахт при їх сумісній розробці родовищ залізних руд, який дозволяє знизити екологічні проблеми, підтримувати виробничі потужності, зменшити економічні витрати та забезпечити безпеку працюючих на підземних і на відкритих роботах.

Метод дослідження – застосовувався комплексний метод, який передбачав аналіз переваг та недоліків всмоктувального і нагнітального і комбінованого способів провітрювання, дослідження технічних параметрів водоповітряної завіси для очищення повітря від шкідливих домішок, її лабораторні і промислові випробування в умовах шахт.

Новизна отриманих результатів полягає у тому, що запропоновано новий реверсивний спосіб провітрювання кар'єрів і шахт за сумісною схемою з використанням природної тяги і вентиляторної установки розташованої на поверхні та очищення повітря за допомогою гідравлічної завіси в підземній виробці, яка відрізняється тим, що за рахунок високого тиску води утворюється дрібнодисперсний водоповітряний факел негативної полярності, що призводить до підвищення конденсації вологи і коагуляції пилу та адсорбції шкідливих газів на поверхні крапель води.

Практична цінність запропонованого способу провітрювання визначається тим, що його застосування в умовах відкрито-підземної розробки родовищ дозволяє використовувати відпрацьовані гірничі виробки для надходження повітря і пересування і роботу потужних бурових і навантажувальних машин в шахтах, відпрацьовувати поклади залізної руди на глибоких горизонтах, здійснити закладання підземних порожнин розкритими породами кар'єрів.

Результати розрахунків і випробувань дозволяють рекомендувати реверсивний спосіб провітрювання шахт і кар'єрів за допомогою одного вентилятора при цьому використовуються відпрацьовані гірничі виробки для надходження повітря і потужної техніки та природна тяга, яка дозволяє підвищити ефективність вентиляції, та забезпечити безпеку праці. Запропонований спосіб очищення забрудненого повітря за допомогою гідравлічних завіс високого тиску дозволяє знизити вміст шкідливих домішок у рудниковому повітрі до санітарних норм і поліпшити умови праці в кар'єрах і в гірничих виробках шахт.

Ключові слова: кар'єр, шахта, гірничі виробки, провітрювання, вентилятор, пил, гази, гідравлічна завіса.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-79-85

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Проблема та актуальність

задачі, що розглядається полягає в ускладненні процесів провітрювання кар'єрів і шахт при сумісній відкрито-підземній розробці родовищ залізних руд. Наявність зон обвалення, незаповнених відпрацьованих порожнин, виробок, з'єднаних з кар'єром обтяжують процес керування вентиляцією. В наслідок цього не забезпечуються належні умови для виведення шкідливих речовин, утворених при здійсненні вибухових робіт, вони потрапляють у робочий простір, що може призвести до отруєнь. Ця проблема є складною та потребує наукових підходів до її розв'язання, вона тісно пов'язана з практичними задачами у галузі комбінованої розробки родовищ залізних руд.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанню провітрювання гірничих виробок і кар'єрного простору при відкрито - підземній розробки родовищ присвячені роботи Казікаєва Д.М., Кулікова В.В. Ладнічєва Л.В., Лапшина О.О., Ошмянського І.Б., Сазонов В.А., Черних А.Д., Шнайдера М, Ф., Щелканова В.А. та ін, в яких піднімаються теоретичні і практичні питання комплексною розробки рудних родовищ, безпеки праці та очищення рудникового повітря від шкідливих домішок.

Аналіз наукових досліджень свідчить, що одночасна розробка родовищ має цілий ряд переваг, серед яких: сумісне використання обладнання, спрощена подача закладного матеріалу в шахту, закладання обвалень на поверхні шахти, використання відпрацьованих гірничих виробок для надходження повітря, застосування головних вентиляторних установок (ГВУ) для провітрювання зони гірничих робіт. Разом із цим застосування відкрито-підземного способу розробки родовищ стримується через наявність небезпеки потрапляння отруйних газів і пилу в гірничі виробки з кар'єру, а також руйнівної дії ударної хвилі, яка розповсюджується в кар'єр при здійсненні масових вибухів у шахтах. Крім того, не вирішено питання застосування способу провітрювання та використання ГВУ, ефективність яких для провітрювання тільки шахт не відповідає сучасним вимогам. Складною задачею є також очищення забрудненого повітря у разі застосування об'єднаної вентиляційної системи для провітрювання відкрито-підземних робіт. Отже, задача підвищення безпеки праці та застосування способу провітрювання при відкрито-підземній розробці родовищ залізних руд залишається актуальною.

Постановка задачі. Враховуючи переваги відкрито-підземного способу розробки родовищ залізних руд та за для вирішення проблеми підвищення безпеки при його впровадженні задачею цих досліджень є визначити перспективи застосування ефективної схеми провітрювання шахт і кар'єрів та очищення повітря в гірничих виробках.

Викладання матеріалу і результатів дослідження. Безпека праці при застосуванні відкрито-підземної розробки родовищ залежить від прийнятої способу і схеми провітрювання гірничих виробок і кар'єрного простору. В теперішній час при сумісній розробці родовищ застосовують наступні способи провітрювання: нагнітальний - рекомендований за науковими дослідженнями; всмоктувальний, що найбільш застосовується у практиці підземної розробки родовищ; комбінований – при розробці великих родовищ та що ведеться видобування руди на декількох поверххах. Кожний з цих способів має свої переваги, але й не позбавлений деякими недоліками [1].

Нагнітальний спосіб утворює надлишковий тиск в усій вентиляційній мережі, а також у відбитій гірській масі і за наявністю витоків в кар'єрний простір можуть потрапляти шкідливі гази при здійсненні вибухових робіт у гірничих виробках [2].

Всмоктувальний спосіб, який зберігся на більшості рудників, характеризується тим, що має місце розрідження в усіх гірничих виробках. За таких обставин отруйні гази можуть потрапляти з кар'єру в гірничі виробки шахт. Незважаючи на те, що відпрацьовані камери і виробки заповнені гірською масою або спеціальним закладним матеріалом, через утворювані тріщини можливе засмоктування отруйних газів з кар'єру в шахту[3].

Нагнітальне-всмоктувальний спосіб провітрювання передбачає використовувати допоміжні підземні вентиляторні установки для утворення «підпору» - надлишкового тиску в зоні аеродинамічного зв'язку з поверхнею через обвалені гірські породи.[2, 4]. Цей спосіб вважають таким, що зменшує непродуктивні витрати повітря з вентиляційної мережі, що покращує управління вентиляцією т знижує можливість потрапляння отруйних газів як в кар'єр так і в гірничі виробки. Разом із цим, реконструкція вентиляційної мережі та обладнання допоміжної вентиляторної установки потребує великих капітальних і експлуатаційних витрат, що призведе до підвищення собівартості сировини. Враховуючі зниження виробничої потужності та економічного стану

сучасних шахт застосування нагнітальне-всмоктувального способу провітрювання очевидно не буде прийнятним. Попереднє техніко-економічне порівняння існуючих способів провітрювання шахт свідчить про перевагу нагнітального способу, але сучасні шахти, наприклад, в Кривбасі застосовують всмоктувальний спосіб і перехід на інші буде економічно недоцільним, хоча існуючі ГВУ не забезпечують надання повітря достатньої кількості в зону гірничих робіт та утворення належної його швидкості.

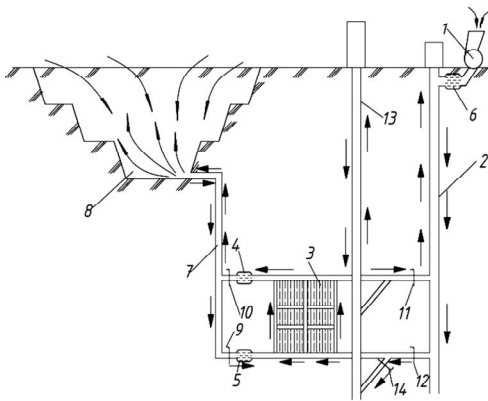


Рис. 1. Схема провітрювання для відкрито-підземного способу розробки родовищ: 1 – вентиляційна установка; 2 – вентиляційні виробки; 3 – зона підземних робіт; 4, 5, 6 – підземні камери очищення повітря; 7 – сполучний вентиляційний колектор; 8 – кар'єр; 9, 10, 11, 12 – вентиляційні перемички; 13 – головний вентиляційний ствол; 14 – регулююча перемичка

Для підвищення безпеки, зменшення економічних витрат при застосуванні відкрито-підземної розробки запропоновано спосіб вентиляції за допомогою вентилятора обладнаного на поверхні шахти. Уперше цей спосіб провітрювання було запропоновано у 1990 році, який передбачав використання підземних виробок і вентиляторної установки, розташованої на поверхні шахти [5]. За цим спосо-

бом значно зменшуються енергетичні витрати, оскільки працює всього одна вентиляторна установка, але узгодження її роботи відповідно до дії природної тяги цим способом не передбачалося. Для урахування цього фактору запропоновано схему провітрювання при комбінованому способі розробки родовищ, представлену на рис. 1 [6].

Відповідно до наведеної схеми, вентиляторна установка працює в узгодженому режимі з природною тягою. Так, у теплий період року вентиляторну установку 1 вмикають на нагнітання повітря в шахту – природна тяга в цей період діє сумісно з вентиляторною установкою. В холодний період року вентиляторну установку 1 перемикають на всмоктування повітря з шахти – природна тяга і в цей період діятиме сумісно з вентиляторною установкою.

Ефективне провітрювання зони підземних робіт і кар'єру при роботі вентиляторної установки на нагнітання (у теплий період року) повітря в шахту здійснюється за умови що перемички 9 і 11 закриті, а перемички 10 і 12 відкриті. У цей період року свіже повітря надходить з головних виробок 2 в зону гірничих робіт 3, провітрює виробки і очисні блоки, а потім відбувається його очищення від шкідливих газів і пилу в камері зрошення 4. Після цього очищене повітря вентиляційною виробкою 7 надходить в кар'єр 8 і провітрює його простір.

В період роботи вентиляторної установки на всмоктування (у холодний період року) свіже повітря надходить у кар'єр 8, провітрює його простір, а потім рухаючись вентиляційною виробкою 7 потрапляє у зрошувальну камеру 5, де очищується від пилу і газу. Після цього очищене повітря надходить у зону гірничих робіт 3, провітрює гірничі виробки і очисні блоки та видається вентиляційним стволом 2 у камеру зрошення 6 для остаточного очищення і видалення в атмосферу.

Головний ствол 13 при нагнітанні повітря в шахту видає певну його частину на поверхню, а при всмоктуванні – частина свіжого повітря надходить в шахту. Регулювання кількості повітря, що надходить або видається по стволу 13 здійснюється за допомогою автоматичної перемички 14. При нагнітанні і при всмоктуванні повітря вентиляторною установкою 1 головним стволом 13 завжди надходить або видається чисте повітря.

Підвищення ефективності очищення рудникового повітря шляхом зрошення його дисперговою водою пропонується здійснювати за допомогою гідравлічних завіс з використанням високого гідростатичного тиску води. Гідравлічні завіси в гірничих виробках мають подвійну дію: ежекцію у свій дощовий факел оточуючого забрудненого повітря; зрошення повітря дисперговою водою під високим гідростатичним тиском.

Основними параметрами даного способу очищення є: дисперсність крапель і відносна швидкість їх польоту, щільність водного аерозолю, розміри зони зрошення, ступінь турбулізації забрудненого потоку, напрямок руху забрудненого повітря і струменя гідравлічної завіси. Величини оптимальних параметрів зрошення коливаються у широких межах і залежать від

механізму уловлювання пилю. Ефективність зрошення за умов дотримання оптимальних параметрів процесу може становити 90-99% [7].

На рис. 2 наведено схему водоповітряного пристрою, який утворює гідравлічну завісу під час очищення забрудненого повітря в гірничих виробках.

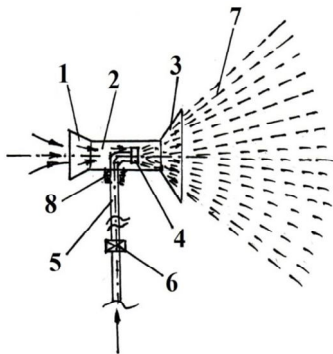


Рис 2. Схема пристрою для утворення гідравлічної завіси: 1-конфузор; 2-змішувальна камера; 3- дифузор; 4- форсунка; 5- водопровід; 6- електричний клапан; 7-гідравлічна завіса; 8- муфта

Водоповітряний пристрій діє наступним чином. Вода під високим тиском (1,0-1,5 МПа) подається до форсунки 4 з водопроводу 5, який обладнано електричним клапаном 6. Форсунка 4 розташована в середині камери змішування 2 з утворенням кільцевої щілини для засмоктування забрудненого повітря. За допомогою форсунки 4 вода диспергується і змішується з повітрям у камері 2 з утворенням водоповітряного струменя. Струміння розширюється у дифузорі 3 і виходить з нього у вигляді гідравлічної завіси 7. Кількість води, що надходить у форсунку 4 регулюється за допомогою електричного клапану 6. Корпус пристрою закріплений на водопроводі 5 за допомогою муфти 8 з можливістю повороту його і спрямування струменя завіси попутно, назустріч або під кутом до забрудненого повітря.

У процесі досліджень впливу різних факторів на фізичні параметри струменів при диспергуванні рідини за допомогою форсунок було встановлено, що водний аерозоль утворює електростатичне поле негативної полярності [8, 9]. Ступінь електрзарядженості факелу диспергованої води залежить від конструкції форсунок, а також від тиску води. Доведено, що зі збільшенням тиску води в трубопроводі до 1 МПа досягається збільшення значення негативної напруженості електростатичного поля до 500-600 В/м і зменшення середнього діаметру крапель з 300 до 150 мкм.

Природа електрзарядження аерозолу пов'язана з утворенням і руйнуванням його подвійного електричного шару, а також з виникненням руйнівних дій на поверхні розділу фаз при дробленні рідини і розповсюдженні крапельного аерозолу [10 - 14].

Наявність електростатичного поля негативної напруженості у факелі аерозолу, утворюваного зрошувачем, а також змінення її величини від тиску води у трубопроводі дає підстави вважати, що у цьому факелі мають місце енергетичні процеси, обумовлені кількістю крапель, їх середнім діаметром, швидкістю руху, фізико-хімічними властивостями поверхневого шару і відстанню між ними у повітрі. Параметри цих процесів впливають на здатність коагуляції часток пилю з краплями води та адсорбцію шкідливих газів. Випробування гідравлічних завіс проводилося на промисловому майданчику шахти ім. Фрунзе ПАТ «Суха Балка» (рис. 3). За результатами випробувань отримані наступні параметри: діаметр крапель води від 1 мкм до 100 мкм; далькобійність понад 20 м [15].

На підставі проведених випробувань гідравлічних завіс високого тиску розроблено ряд рекомендацій щодо вибору і застосуванню даного обладнання. Необхідно відзначити, що в основі очищення забрудненого рудникового повітря в гірничих виробках за допомогою гідравлічних завіс лежить кілька суттєвих процесів.



Рис. 3. Випробування установки на промисловому майданчику шахти ім. Фрунзе ПАТ «Суха Балка»

Спостерігається змочування частинок пилю, їх подальша коагуляція і осідання з факелу гідравлічної завіси. Швидкість осадження дрібного пилю підпорядковується закону Стокса і пропорційна квадрату діаметра частинок пилю. Тому найдрібніший пил без впливу зрошення практично не осідає. З'єднання крапель води із завислими частинками пилю підпоряд-

ковується закономірності порівняння діаметрів частинок. Якщо краплі за розміром співставні з частинками пилу, то відбувається їх ефективне захоплення і коагуляція. Така схема дії завіси забезпечує підвищення ефективності очищення повітря від пилу.

Процес пилоутворення є наслідком механічних процесів подрібнення, тертя, перемішування, при цьому в утвореному двофазному середовищі (повітря-пил) присутня об'ємна статична електрика (трібоелектричний ефект утворення заряду під час тертя різних матеріалів), що призводить до електророзпору (відштовхування однойменних зарядів) частинок і збільшення тривалості їх перебування у зваженому стані.

Диспергування води в гідравлічних завісах утворює водний аерозоль, який формує електростатичне поле негативної напруженості. У межах гідравлічної завіси утворюється «загороджувальна стінка» забрудненому повітрю, що дозволяє здійснити його зрошення і знизити вміст у ньому шкідливих домішок. Основними технічними параметрами установки, від яких залежить ефективність очищення повітря є: кількість повітря, що ежектується у зрошувальний струмінь, Q_c , м³/с; коефіцієнт ежекції U ; вміст вологи у потоці водоповітряної суміші (щільність зрошення q , г/м³; середній діаметр крапель води у струмені d_c , мкм; далекобійність водоповітряного струменя L_y , м; напруженість електричного поля E_n , В/м; загальна електрзарядженість аерозолю Q_e , нКл/кг.

Методикою випробувань установки передбачалося встановити залежності її технічних параметрів від тиску води у трубопроводі P_p , а також від її геометричних характеристик, таких як діаметр камери змішування d_k і ширини кільцевого отвору для випуску суміші b_0 .

Кількість повітря, що ежектується Q_c визначалася шляхом вимірювання його швидкості у конфузори установки за допомогою анемометра, при цьому змінювали тиск води P_p у водопроводі, за допомогою електричного клапану, тиск реєструвався манометром. Далекобійність струменя L_y визначалася шляхом вимірювання рулеткою довжини між дифузором пристрою і останньою межею вологого асфальту на полігоні. Усього було випробувано п'ять типорозмірів водоповітряних установок, які відрізнялися довжинами і діаметрами камер змішування, а також шириною кільцевого отвору для випуску суміші. Ширину кільцевого отвору b_0 змінювали від 1 до 4 мм, а діаметр камери змішування d_k змінювали у межах 50...250 мм.

Збільшення або зменшення діаметра камери призводило до зменшення далекобійності установки. Це можна пояснити тим, що при збільшенні діаметра камери різко зростає кількість повітря, яке потрапляє у струмінь, внаслідок чого, на його транспортування витрачається більше кінетичної енергії струменя диспергованої води. При зменшенні діаметру камери зростає опір на виході за рахунок збільшення лобового опору вихідного отвору, що призводить до падіння початкової швидкості і далекобійності установки.

Використання методів математичної обробки отриманих результатів дозволило встановити емпіричну залежність між параметрами установки. Так, залежність далекобійності струменю L_y від тиску води у магістралі P_p і ширини кільцевого отвору для випуску суміші b_0 має вигляд

$$L_y = 10 \sqrt{\frac{P_p b_0}{b_0 + 4,5}}, \quad (1)$$

де P_p – величина тиску води на вході в установку, МПа; b_0 – ширина кільцевого отвору для випуску суміші, мм.

На рис. 4 наведено графіки залежності далекобійності установки від діаметра змішувальної камери. Аналіз результатів випробувань показав, що найбільшу далекобійність забезпечують установки з діаметром змішувальної камери $d_k = 100-150$ мм.

На рис. 5 наведено графіки залежності середнього діаметра крапель d_c від ширини кільцевого отвору b_0 , який утворюється між корпусом форсунки і внутрішньою поверхнею змішувальної камери.

Математична обробка даних, отриманих у результаті експериментів, дозволила встановити емпіричну залежність між конструктивними параметрами установки, тиском води у трубопроводі P_p і шириною кільцевого отвору для випуску суміші b_0

$$d_c = 100 \sqrt{\frac{1}{P_p} \sqrt{270 \ln b_0 + 310 / b_0 - 294}}, \quad (2)$$

де d_c – середній діаметр крапель води, мкм; b_0 – ширина кільцевого отвору для випуску суміші, мм.

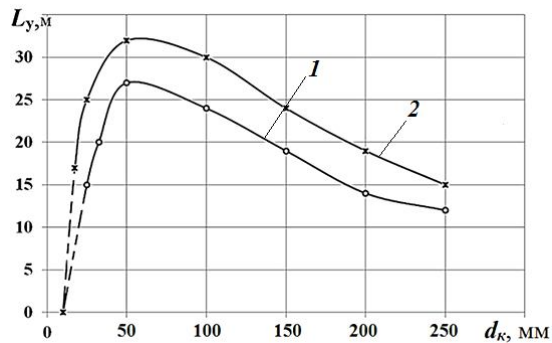


Рис 4. Залежність далекобійності установки L_y , м від діаметра змішувальної камери d_k , мм: 1 - $P_p = 1,0$ МПа; 2 - $P_p = 1,5$ МПа



Рис 5. Графіки залежності середнього діаметра крапель d_c від ширини кільцевого отвору для випуску суміші b_0 , мм: 1 - $P_p = 1,0$ МПа; 2 - $P_p = 1,5$ МПа

На рис. 6 наведено графіки залежності напруженості загальної електрзарядженості аерозолу від тиску води, що надходить до форсунки при різних значеннях ширини кільцевого отвору для випуску суміші

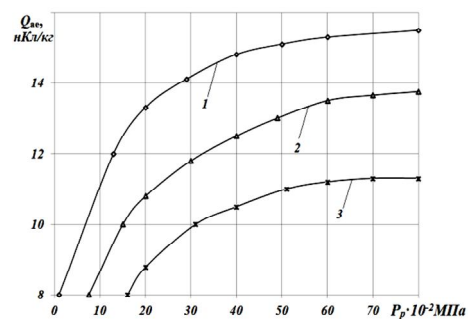


Рис 6. Залежність загальної електрзарядженості аерозолу від тиску води, що надходить до форсунки при різних значеннях ширини кільцевого отвору для випуску водоповітряної суміші: 1 - $b_0 = 1$ мм; 2 - $b_0 = 2$ мм; 3 - $b_0 = 3$ мм

Як видно з графіків загальна електрзарядженість аерозолу збільшується з підвищенням тиску води у трубопроводі і набуває максимальних значень при тиску $P_p = 0,5$ МПа, подальше збільшення тиску не призводить до суттєвого збільшення електрзарядженості. Крім того більша електрзарядженість спостерігається при значеннях ширини кільцевого отвору для випуску водоповітряної суміші $b_0 = 1$ мм.

Висновки і напрямок подальших досліджень. Геологічний і техніко-економічний аналіз затверджених запасів неокислених кварцитів засвідчив перспективні можливості їх розробки відкрито-підземним способом з використанням виробленого простору кар'єру і його технологічної інфраструктури.

Відкрито-підземний спосіб розробки родовищ передбачає використання відпрацьованих гірничих виробок і простору кар'єру для подачі повітря в зону гірничих робіт і провітрювання технологічних комплексів.

Очищення рудникового повітря від шкідливих домішок здійснюється в гірничих виробках шахт за допомогою гідравлічних завіс, які утворюють струмінь водоповітряної суміші негативної полярності і високої дисперсності крапель в діапазоні від 1 до 100 мкм.

Електроактивація водяного аерозолу посилюється за рахунок високого тиску води, яка надходить до змішувальної камери установки, що сприяє підвищенню коагуляції пилу та нейтралізації шкідливих газів за рахунок адсорбції їх на краплях води.

Випробування гідравлічної завіси в умовах гірничої виробки показало достатньо високу ефективність очищення повітря від шкідливих домішок, спостерігається стійкий режим роботи в автоматичному режимі і можливість управління в залежності ступені забруднення повітря.

Використання гідравлічних завіс для очищення рудникового повітря дає можливість здійснювати реверсивне провітрювання кар'єрів і шахт за допомогою існуючого ГВУ, обладнаного на поверхні, при застосуванні відкрито-підземного способу розробки рудних родовищ.

Напрямок подальших досліджень передбачає обґрунтування наявності високого тиску в гідравлічних мережах шахт та дослідження аеродинамічних параметрів гідравлічних завіс в рудниковому повітрі

Список літератури

1. Черных А. Д. Комплексная разработка рудных месторождений / А. Д. Черных. – К. : Техніка, 2005. – С. 4-23.
2. Шнайдер М.Ф., Вороненко В.К. Совмещение подземных и открытых разработок рудных месторождений. – М.: Недра, 1985. – 1985 -132 с.

3. **Ладыничев Л. В.** Проветривание шахт при разработке месторождений одновременно открытым и подземным способами. // Проблемы охраны труда. – Каунас: КПИ, 1982. – С. 316-317.
4. **Щелканов В.А.** Основные направления развития открыто-подземного способа разработки месторождений. – М.: ИП-КОН АН СССР, 1987. – С.16-29.
5. А. с. 1583625 СССР, Е 21 F 1/00. Способ проветривания карьеров / **А.Е. Лапшин, В.Г. Слюсаренко, И.Б. Ошмянский** (СССР). № 4410992/31-03; заявл. 15.04.88; опубл. 07.08.90, Бюл. № 29.
6. Пат. на корисну модель 93859 Україна МПК E21F 1/00. Спосіб провітрювання кар'єрів і шахт при комбінованій роз-робці родовищ / **Лапшин О.Є., Лапшин О.О., Лапшина Д.О.**; заявник і патентовласник Криворізький національний уні-верситет. – № u 201400735; заявл. 27.01.14; опубл. 27.10.14, Бюл. № 20.
7. **Лапшин О.Є., Лапшин О.О. Лапшина Д.О.** Очищення забрудненого повітря при застосуванні відкрито-підземного способу розробки родовищ// Качество минерального сырья. В сб. научн. трудов. Кр. Рог. 2017.- с 366-377.
8. **Фролов А.В.** Исследование высоконапорного гидрообеспыливания пылеулавливающими водовоздушными эжекторами с плоскоструйными форсунками / **А.В. Фролов, В.А. Телегин** // Горный информационно-аналитический бюллетень. Аэрология. – Вып. 5, 2008. – С. 164-1682.
9. Моделирование и проектирование систем гидрообеспыливания / [**В.П. Журавлев, В.И. Саранчук, Н.А. Страхова** та ін.]. – Киев: Наукова думка, 1990. – 132 с.
10. **Jundika, C., Agus, P. Arun, S.** (2015) «Introduction and evaluation of a novel hybrid brattice for improved dust control in underground mining faces : a computational study», International Journal of Mining Science and Technology. – V. 25, Issue 4, pp. 537–543.
11. **Бересневич П.В.** Обоснование параметров и технологических схем использования эжекторной установки в процессе пылегазоподавления и проветривания выработок / **П.В. Бересневич, А.А. Лапшин** // Разработка рудных месторождений – Вып. 89, 2005. – С. 199-203.
12. **Volkwein, J.C., Vinson, R.P., Page, S.J., McWilliams, L.J., Joy, G.J., Mischler, S.E., Tuchman, D.P.** (2006) «Laboratory and field performance of a continuously measuring personal respirable dust monitor» Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH). № 2006–145, RI 9669.
13. **Chekan, G.J., Listak, J.M., Colinet, J.F.** (2001). «Laboratory testing to quantify dust entrainment during shield advance». Proceedings of the Seventh International Mine Ventilation Congress (Krakow, Poland, June 17–22, 2001), pp. 291–298.
14. **Goodman, G.R., Pollock, D.E., Beck, T.W.** (2004). A comparison of a directional spray system and a flooded-bed scrubber for controlling respirable dust exposures and face gas concentrations. Proceedings of the 10th U.S./North American Mine Ventilation Symposium (Anchorage, AK, May 16–19, 2004), pp. 241–248.
15. **Корж В.А.** Вплив електроактивації аерозолі на інтенсивність пилогазоподавлення при провітрюванні / **В.А. Корж, О.О. Лапшин** // Проблеми охорони праці в Україні. – Вып. 8, 2004 – С. 32-39.

Рукопис подано до редакції 04.04.2018

УДК 621.313.024.67.

А.С. КУЗЬМЕНКО, ст. викладач, Г.В. КОЛОМІЦ, асистент
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОГО МАГНІТО-ЛЕВІТАЦІЙНОГО ДВИГУНА

Мета роботи і задачі дослідження. Конструювання та дослідження актуальності використання та подальшого розвитку сонячного магніто-левітаційний двигуна Ларі Спрінга.

Для досягнення поставленої мети потрібно зробити:

обрати оптимальний варіант конструкції двигуна;

створити робочу модель двигуна;

провести випробування та налаштування;

провести досліди та знайти основні закономірності роботи двигуна.

Актуальність роботи. Зараз все частіше постають питання про розробку нових типів двигунів. Досить гостро цей напрям пов'язаний з підприємствами та транспортом, адже більшість двигунів – це покращенні моделі минулого. Нові двигуни повинні бути не тільки ефективніші, але і дешевші.

У ДВНЗ «Криворізький національний університет» існує лабораторія «Електричних машин». Для вивчення сучасних напрямків розвитку електричних машин постійно проводяться дослідження у цьому напрямку У навчальний процес впроваджуються лабораторні роботи по аналізу роботи сучасних двигунів. Останні з таких робіт: «Кроковий двигун», «Вентильний реактивний двигун».

Методи досліджень. При вирішенні задачі використовувались загальні методи обчислювальної техніки, побудовано макет сонячного магніто-левітаційного двигуна.

Наукова новизна. Сконструйована робоча модель сонячного магніто-левітаційного двигуна та досліджені основні його властивості.

Практична. Сучасні електродвигуни, хоча і основані на одному і тому ж законі, що і електромеханічний перетворювач Якобі, проте мають значну різницю. З плином часу, електричні двигуни стали значно потужніші, менші, та

значно виріс їх ККД. Коефіцієнт корисної дії сучасних електродвигунів лежить в межах 85-95%.

Тому так гостро існує питання про пошуку та створення нових ефективних видів двигунів з максимально ефектним перетворенням різних видів відновлюваної енергії в механічну.

Результати. Конструкція двигуна виявилася працездатною. Сучасні магніти дають можливість створювати магнітний підвіс для будь якої маси ротора. Створивши більш масштабну модель з потужною системою збудження та більшою кількістю активних обмоток якоря можливо створити двигун із значним моментом на валу. Також існує можливість приєднувати до валу двигуна механізми, що дає більш широкі можливості використання. В подальшому планується на базі отриманих результатів створити більш масштабну модель двигуна.

Ключові слова: магніто-левітаційний двигун, модель, магнітний підвіс, ротор, фотоелементи.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-85-89

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. В основу для роботи сучасного електричного двигуна покладено принцип електромагнітної індукції – явища зв'язаного з виникненням електрорушійної сили в замкнутому контурі внаслідок зміни магнітного потоку.

Явища магнітні та явища електричні – тісно пов'язані, що і надало вченим багато можливостей. Історія електричних двигунів, як і історія електричного машинобудівництва в цілому обумовлюється законом електромагнітної індукції, відкритого М. Фарадеєм у 1831 році, як і правилом Е. Ленца, згідно якого індукційний струм завжди спрямований таким чином, щоб протидіяти причині його виникнення. Праці двох вчених стали основою для створення першого електродвигуна Бориса Якобі.

Була розглянута можливість створення безколекторного магніто-левітаційного сонячного двигуна Ларі Спрінга, а також аналіз його роботи в залежності від сучасної бази компонентів, світлових та інших впливів. Описані конструкційні особливості даної дослідної моделі, стадії його створення та введення у робочий стан, також результати дослідження, які показують перспективи розвитку даного напрямку сучасних електричних машин.

Аналіз досліджень і публікацій. Сонячний магніто-левітаційний двигун Ларі Спрінга був створений в 1994 році. Він названий іменем округу Мендосино в штаті Каліфорнія, де проживає винахідник.

Ідея двигуна полягає в тому, що комутація відбувається за рахунок перетворення сонячної енергії, яка і є джерелом електричної енергії для обмоток, вперше була написана Дерілом Чапіном у експерименті з сонячною енергією в 1962 році. Експеримент було проведено у будівлі Bell Labs, де було винайдено сучасні сонячні елементи Чапіном та його колегами Кельвіном Фулером, Джеральдом Пірсоном у 1954 році. Замість магнітної левітації використовувалось голка у якості підшипника ковзання з малим тертям та скляний циліндр.

Коли світло падає на одну із сонячних панелей, вона генерує електричний струм, який тече по обмотці ротора. Цей струм виробляє магнітне поле, яке взаємодіє з полем магніту під ротором. Ця взаємодія призводить ротор в обертання. При обертанні ротора наступна сонячна батарея переміщується до світла і збуджує струм в другій обмотці. Процес повторюється до тих пір, поки на батареї падає сонячне світло.

Конструкція двигуна не складна та має такі складові:

каркас (основа) з вертикальною стінкою для утримання двигуна в необхідному положенні;

неодимові магніти – дві пари по два магніти на статорі та, - пара по два магніти на роторі;

латунна трубка – основа ротора;

чотири фотоелементи – 0.5V/100mA;

дві обмотки якоря з мідного проводу – 150 витків на одну обмотку;

інші допоміжні частини каркасу.

Постановка задачі. Була поставлена задача сконструювати та дослідити сонячний магніто-левітаційний двигун Ларі Спрінга, з точки зору можливості його використання у побуті та промисловості. Користуючись відкритими джерелами, було сконструйовано три варіанти даної моделі. Керування двигуном відбувається за рахунок збільшення або зменшення сили магнітного поля збудження та світлового потоку.

Виклад матеріалу і результати. Виготовлення корпусу двигуна. Для моделі сонячного двигуна потрібен немагнітний корпус та вал. Корпус двигуна виготовлено з полікарбонату (органічного скла) товщиною 2 мм.

Налаштування магнітного підвісу двигуна. Платформа двигуна складається з п'яти магнітів. Чотири магніти в підставі відповідають за левітацію, вони взаємодіють з магнітами, які розташовані на валу двигуна. П'ятий магніт забезпечує магнітне поле збудження для ротора. Також обов'язково повинна бути обмежуюча бічна панель, на яку опирається вісь двигуна (рис. 1).

Правильне налаштування магнітного підвісу (рис. 2) обирається з позиції найстійкішого положення валу двигуна.

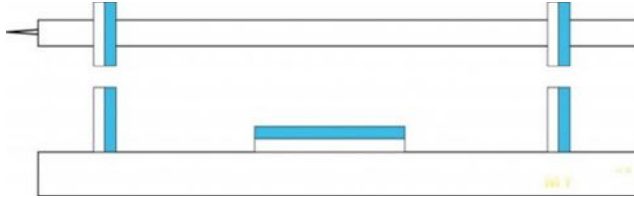


Рис. 1. Магнітна система двигуна

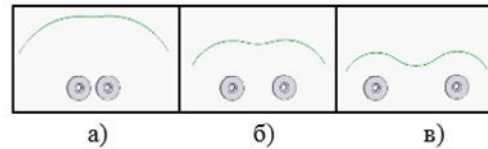


Рис. 2. Поле магнітів: а - не стійке положення; б - положення малої стійкості; в - найбільш стійке положення

Загальну кількість положень поділяють на три групи:

а) не стійке положення – це положення при якому магніти ротору не затримуються у стійкому положенні на магнітах статора;

б) положення малої стійкості може бути використане під час тестового налаштування, але не у якості остаточного налаштування, через те, що під час роботи мотору виникають значні коливання ротору, внаслідок чого велика вірогідність того, що двигун може зійти зі свого конструктивного положення;

в) найбільш стійке положення, під цим розуміється положення максимально стійке для даної моделі.

При цьому прийнятні для нормальної роботи двигуна і положення, що знаходяться між пунктами б та в.

Ротор двигуна. Ротор складається з валу, обмоток, та сонячних панелей. Ротор має квадратний перетин. На блоці ротора, є всі необхідні чотири сонячні батареї; по одній батареї на кожній з чотирьох сторін і два комплекти обмоток (рис. 3).

Конструкція ротору будується на основі замкнутого кола, який складається з джерела струму та обмоток. Як показано на рис. 4, до кожної пари сонячних елементів підключено одну обмотку, саме на цій структурі і базується робота двигуна: світло потрапляє на один сонячний елемент, на обмотці виникають сили магнітної індукції, що примушують її відштовхуватись від інших магнітних полів, в нашому випадку поле магнітів під котушкою ротора, виконується оберт і світло потрапляє на іншу сонячну панель, яка знаходилася з іншого боку, і цикл повторюється.

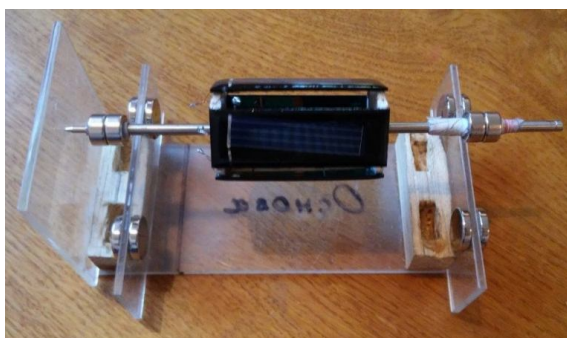


Рис. 3. Загальна конструкція двигуна

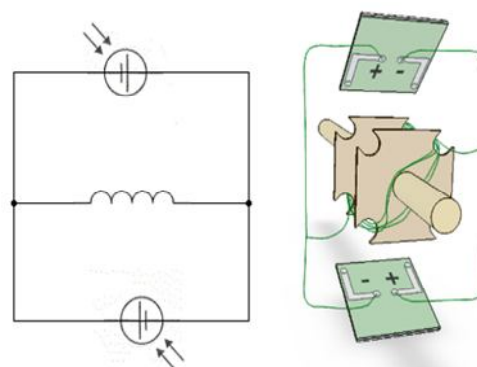


Рис. 4. Електрична схема ротора та схематичне зображення підключення обмоток до фотоелементів

Варто відзначити, що чим більше таких кіл (сонячні панелі - котушка), тим більша здатність двигуна до обертання, а отже і більше потужність.

Характеристики сонячних елементів які використовувалися при проектуванні моделі:

напруга на елементі без навантаження на яскравому сонці - 0,55 В.

струм короткого замикання, в тих же умовах - 0,38 А.

внутрішній опір - 1,447 Ом.

Опір обмоток ротора складає 10 Ом.

Випробування двигуна. Для розрахунку обертового моменту (сили, яка додається до рамки зі струмом з боку магнітного поля) ми використовували закон Ампера

$$F = I \cdot B \cdot l, \quad (1)$$

де I – струм провідника; B – сила магнітної індукції поля; l – довжина провідника; та формулу опору провідника

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (2)$$

де ρ – питомий опір провідника; l – довжина провідника; S – площа перетину провідника.

Подставивши в формулу геометричні розміри обмотки ротора, отримаємо формулу сили, яка діє на обмотку. Ротор сконструйованого двигуна розміром 60×30мм, де 30мм – сторона рамки, на яку впливає магнітне поле.

$$F = \frac{U \cdot B \cdot 0.03 \cdot n}{r + p / S \cdot 0.18 \cdot n} = \frac{k \cdot n}{1.45 + 0.097 \cdot n} \quad (3)$$

Наступна діаграма ілюструє методику підбору діаметра мідного дроту і кількість витків ротора двигуна.

На діаграмі по осі абсцис вимірюємо кількість витків обмоток ротора двигуна, по осі ординат, коефіцієнт обертового моменту. Діаграми побудовані для мідного дроту діаметром від 0,1 до 1,0 мм (рис. 5).

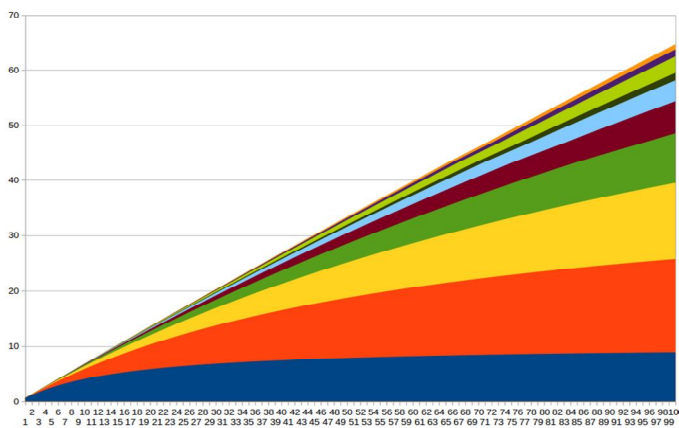


Рис. 5. Графік залежності діаметра дроту від кількості витків

Якщо знехтувати внутрішнім опором сонячного елемента, то обертовий момент не буде залежати від кількості витків на роторі, а буде залежати тільки від діаметра дроту, яким намотаний ротор двигуна.

При створенні робочої моделі використовувався провід діаметром 0,2 мм. З вище представленої діаграми, розрахований крутний момент та кількість витків на роторі

двигуна. Конструктивно намотано на кожну обмотку ротора по 20 витків.

Висновки і напрямок подальших досліджень. Конструкція двигуна виявилася працездатною. Сучасні магніти дають можливість створювати магнітний підвіс для будь якої маси ротора. Створивши більш масштабну модель з потужною системою збудження та більшою кількістю активних обмоток якоря можливо створити двигун з задалегідь розрахованим моментом на валу. В подальшому планується на базі отриманих знань створити більш масштабну модель двигуна.

Список літератури

1. Дэррил М. Чапин (1962). «Использование и демонстраций». Bell System наук Опыт № 2: энергии от Солнца. Bell Telephone Laboratories, Incorporated. стр. 77.
2. J. Appelbaum, Starting and steady-state characteristics of DC motors powered by solar cell generators, IEEE Transactions on Energy Conversion, Том. EC-1, Номер. 1, Стр. 17-25, 1986.
3. A. Coty, Moteur solaire sans entretien, 2011. Адреса: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01076057>. Accessed: Oct. 21, 2014.
4. Solar levitating mendocino motor engine magnetisch schwebend levitation [video]. Адреса: <http://www.youtube.com/watch?v=DUGLNzfy6Y>. Опубликовано 7.11.2010.
5. Движение без трения. // Сайт, посвященный Борису Петровичу Вейнбергу. 2015. URL: http://veinberg.o7.ru/pdf/no_friction_motion.pdf (дата обращения 22.08.2017).
6. Антонов Ю. Ф., Зайцев А. А. Магнитолевитационная транспортная технология / Под ред. В. А. Гапановича. – М.: Физматлит, 2014. – 476 с.
7. Современные машиностроительные материалы. Неметаллические материалы. Справочник под общей редак-

- цией академика И.В. Горынина и д.т.н. А.С. Орыщенко. – СПб: НПО «Профессионал», 2012. – 916 с.
8. Правила расчетов приводных двигателей. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
9. Rentyuk Vladimir «Control stepper motors in both directions» EDN March 18, 2010.
10. Кенио Такаши. Двигатели и их микропроцессорные системы управления: Пер. с англ., М.: Энергоатомиздат, 1987 – 199 с.
11. Белов М.П., Новіков В.А., Розсудів Л. Н. Электропривод типових виробничих механізмів і технологічних комплексів. - 3-е изд., Испр .. - М.: Видавничий центр "Академія", 2007.

Рукопис подано до редакції 02.04.201

УДК (004.94:622.83):622.268.1

Б. Н. АНДРЕЕВ, д-р техн. наук, проф., С. С. СЕРГЕЕВ, ассистент
Криворожский национальный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО–ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА НА УЧАСТКЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Целью работы является исследование особенностей формирования напряжённо-деформированного состояния массива за плоскостью забоя при сооружении параллельных горных выработок.

Методы исследования. Поставленная в работе цель достигнута путем оценки результатов лабораторных исследований, компьютерного моделирования и иных апробированных методов решения геомеханических задач.

Научная новизна исследования заключается в установлении зависимостей размеров зоны неравнокомпонентных напряжения за плоскостью забоя от расстояния между параллельными выработками, направленных на совершенствование технологии геостроительства.

Практическая значимость. Полученные зависимости напряженно – деформированного состояния приконтурной области массивов параллельно строящихся выработок, позволяют определить способ проведения сооружения и рациональный тип крепления, для обеспечения должного закрепного пространства и долгосрочного использования подземных объектов.

Результаты. Рассмотрены особенности сооружения горных выработок на шахтах Криворожского бассейна. Определена оптимальная программа, на основе методов конечных элементов позволяющая рассчитать перемещения, деформации, напряжения, внутренние усилия, возникающие в теле под действием статической нагрузки. В ходе исследований доказано, что в процессе выемки породы при проведении выработок происходит перераспределение статических напряжений и в призабойной области массива возникает непосредственно примыкающая к плоскости забоя зона неравнокомпонентного напряженного состояния (зона пластических деформаций растяжения), которая переходит в зону сжатия (естественное напряжённое состояние массива). Проанализированы характерные особенности геомеханического состояния массива пород за плоскостью забоя горизонтальных горных выработок. Приведены результаты компьютерного моделирования распределения напряжений естественного поля для условий шахт Криворожского бассейна. Установлены составляющие элементы зоны неравнокомпонентного напряжённого состояния в приконтурной области массива. Определены фактические размеры зоны пластических деформаций растяжения и сжатия за плоскостью забоя параллельных выработок. Получены закономерности перераспределения полей напряжений впереди забоев в зависимости от расстояния между параллельными выработками. Уточнены фактические размеры целика между однотипными подземными объектами исключая взаимное влияние на контур сооружений.

Ключевые слова: горизонтальная горная выработка; геостроительство; компьютерное моделирование.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-89-94

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Среди основных направлений расширения минерально-сырьевой базы Криворожского железорудного бассейна большое значение имеет разработка богатых руд на глубоких горизонтах.

Увеличение глубины ведения горных работ сопровождается ухудшением геологических и горнотехнических условий [1, 2]. Это обуславливает необходимость решения задач по получению достоверных сведений о геомеханическом состоянии породного массива, позволяющих одновременно составить представление о характере и интенсивности возможных деформаций горных выработок, а также разработать и внедрить наиболее эффективные для больших глубин технологические решения при строительстве капитальных и подготовительных выработок [3].

Анализ исследований и публикаций. На шахтах и рудниках многих стран мира применяются современные горнопроходческие комплексы ведущих производителей. Основным направлением совершенствования современного горного оборудования, в частности разработок шведской компании «Atlas Copco» и финской «Sandvik Tamrock», является применение на буровых установках и погрузочных машинах компьютеров со специальным программным обеспечением.

© Андреев Б. Н., Сергеев С. С., 2018

печением, которое имеет широкие возможности [4,5]. Высокий уровень автоматизации, компьютеризации и программирования требует внедрения новых подходов к разработке технологических решений проходки горных выработок, обеспечивающих максимальное использование возможностей современной проходческой техники [6,7]. В ряде стран, где ведется интенсивная подземная добыча полезных ископаемых, проводятся работы по развитию технологий строительства подземных сооружений, прорабатываются новые методы и методологии подготовки месторождений к разработке полезных ископаемых подземным способом с использованием новейшего проходческого оборудования [7].

Изложение материала и результаты. Многие геомеханические задачи, с которыми приходится в настоящее время сталкиваться исследователям и инженерам, не поддаются аналитическому решению либо требуют значительных затрат времени на экспериментальную реализацию. Прогресс в разработке численных методов и компьютерного моделирования позволил существенно расширить круг задач, доступных анализу [8]. В последние годы значительное развитие технологий программирования обусловило широкое применение компьютерной техники для анализа и моделирования напряженно-деформированных состояний массива горных пород.

В программных комплексах для получения оценки разрушения пород используются теории прочности: наибольших нормальных напряжений, максимальных относительных удлинений, наибольших касательных напряжений, полной потенциальной энергии, О. Мора, энергетической теории формоизменения, П. П. Баландина, И. Н. Миролюбова, предельных сопротивлений сдвигу и отрыву, Я. Б. Фридмана и др. При анализе каждой теории за эквивалентное напряжение применялся предел прочности породы растяжению и сжатию [9].

В ходе исследований рассматривался и анализировался ряд программ на основе методов конечных элементов (МКЭ), включающих в себя статический структурный анализ (Static Structural), позволяющий рассчитать перемещения, деформации, напряжения, внутренние усилия, возникающие в теле под действием статической нагрузки [10]. Всё это необходимо для определения параметров “зоны разгрузки” и построения модели по всем критериям и нормам. Было решено использовать программный комплекс 3D моделирования Ansys.

Однако исследования, проводимые с помощью компьютерного моделирования, могут иметь погрешность и в связи с этим было произведено сравнение полученных результатов с лабораторными экспериментами. За основу были взяты исследования проф. Ключкова В. Ф. занимавшегося вопросами изучения напряженно – деформированного состояния приконтурной области массива для условий Кривбасса, выполненные методом фотоупругости с “замораживанием” полей напряжений моделей, в поле центробежных сил [10]. Для проверки адекватности модели был повторно произведен ряд экспериментов, только построенных при помощи компьютерного моделирования.

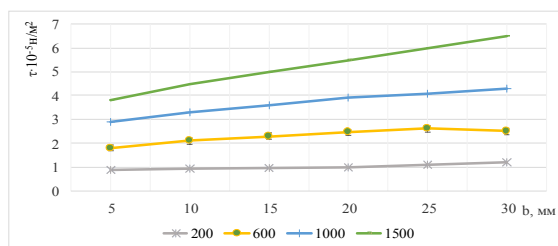


График №1

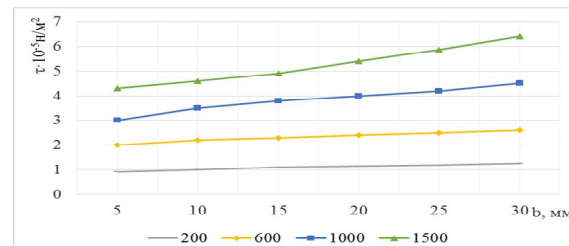


График №2

Зависимость максимальных касательных напряжений в углах моделей от их ширины полученные методом фотоупругости граф. №1 и компьютерном моделировании граф. №2

При сравнении значений, полученных обоими методами (график №1, 2), наблюдается незначительная разбежность результатов погрешность, которая составляет 7-11 % (табл. 1). Закономерность увеличения погрешности четко прослеживается при увеличении моделируемой глубины для 1000-1500мм и составляет порядка 12-15%. Подводя итог выше сказанного можно утверждать, что модель является адекватной и допустимая погрешность тому подтверждение.

Расхождение между результатами, полученными методом фотоупругости и компьютерным моделированием рассчитывалась по формуле относительной погрешности [11]

$$\Delta = \frac{l_k - l_\phi}{l_k} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Принимая во внимание практически полное отсутствие в Криворожском бассейне тектонических напряжений, для участков приконтурных массивов горизонтальных выработок, главного двухпутевого квершлага с сечением $S_{св} = 18,5 \text{ м}^2$ и двух однопутевых квершлагов с сечением $S_{св} = 12,65 \text{ м}^2$, горизонта 1340 м, ш. «Октябрьская», ПАО «КЖРК», было проведено компьютерное моделирование характера перераспределения напряжений естественного поля, обусловленных силами гравитации.

Таблица 1

Расстояние до области повышенных напряжений в моделях

Модель		Соотношение между сторонами модели	Полученное методом фотоупругости, $l_{ф}$ м	Полученное методом при компьютерном моделировании, $l_{к}$ м	Погрешность, %
T1	M1	1:1	1,06	1,189	11
	M2	1:2	1,515	1,698	11
T2	M3	1:3	1,842	2,093	12
	M4	1:4	2,082	2,32	11
Средневзвешенная погрешность					11,25

В ходе исследований определено, что при проведении выработок вследствие выемки породы в призабойной области массива происходит перераспределение статических напряжений с образованием зон деформаций растяжения и сжатия (рис. 1).

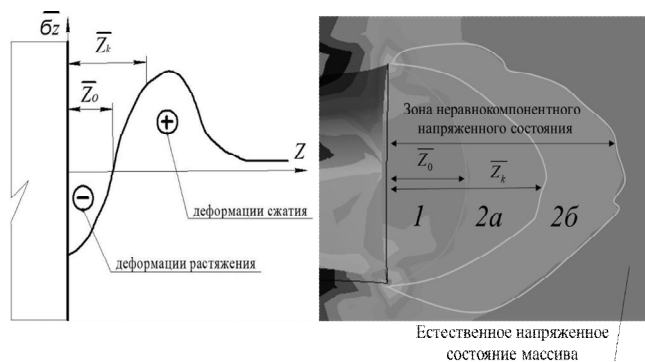


Рис. 1. Зона неравнокомпонентного напряженного состояния в призабойной области массива двухпутевого квершлага

Непосредственно к плоскости забоя выработки примыкает зона деформаций растяжения 1, за которой следует зона деформаций сжатия – 2, которые также можно разделить на две подзоны:

- а) максимальные деформации сжатия, находящиеся на расстоянии равном $0,9-0,95$ условного радиуса выработки;
- б) конечные деформации сжатия, соответствующее крайней точке рассматриваемой зоны находящаяся на расстоянии от плоскости забоя выработки, зависящие от физико-механических свойств массива.

Затем зона сжимающих деформаций плавно теряет интенсивность по мере удаления от выработки и стремится к уровню естественного напряженного состояния массива.

Также на основании полученных данных определено, что средневзвешенный экстремум деформаций сжатия наблюдается на расстоянии $2,1$ м от плоскости забоя, а полученный расчетный экстремум деформаций сжатия по методике Миндели, Вайштейна, Демчука [12], (2), равен $2,3$ м. Погрешность, составляет порядка 7% , незначительная разбежность объясняется тем, что формула не учитывает многих геомеханических факторов и основана на учете площади сечения и предела прочности на одноосное сжатие.

Расчетный экстремум деформаций сжатия по методике Э. О. Миндели, Л. А. Вайнштейна, П. А. Демчука определяется из выражения [12]: $0,9 \dots 0,95R_y$, где $R_y - R_{np}$ – приведенный или условный радиус выработки

$$R_y = R_y = \sqrt{\frac{S_{свч}}{\pi}}, \quad (2)$$

где $S_{свч}$ – площадь сечения выработки в черне.

В условиях пересечения слабых пород, а именно тальковых сланцев и исходя из плана горизонта (рис.2), моделировалась ситуация с двумя параллельными однопутевыми квершлагами с площадью поперечного сечения $S_{св} = 12,65 \text{ м}^2$ проходимыми по продаж крепостью $f = 3-4$ и $10-12$.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что в зависимости от расстояния между параллельными выработками поля напряжений перераспределяются, оказывая основное влияние на протяженность зон деформаций сжатия и разгрузки в призабойной области массива.

Минимальные влияния на зону разгрузки начинаются при размере целика $6Ry$ или 12 м – в породах с крепостью $f = 10-12$ по шкале проф. М.М. Протодяконова. Также определено, что на расстоянии от $1Ry$ до $5Ry$ происходит взаимовлияние параллельных забоев на размер зоны разгрузки и сжатия. Экстремум деформаций сжатия размещен между выработками. Это связано с тем, что образующиеся напряжения в приконтурном массиве забоев суммируются, влияя при этом на протяженность зон сжатия и разгрузки. Однако размер зоны деформации растяжения практически не изменяется при изменении размеров целика, это связано с тем, что в основном на эту область влияют лишь геометрические параметры выработки и глубина заложения. При размере целика от $6Ry$ до $9Ry$ экстремум деформаций сжатия перераспределяется, разделяется и постепенно перемещается в сторону каждого из забоев.

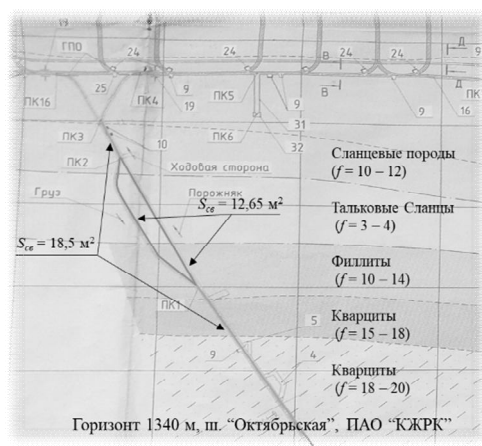


Рис. 2. План горизонта 1340 м, ш. «Октябрьская», ПАО «КЖРК»

Также, исходя из полученных и проанализированных результатов определено, что взаимное влияние выработок на контур друг друга начинается сказываться, когда расстояние между ними меньше $7Ry$ или 14 м при крепости породы по шкале проф. М. М. Протодяконова $f = 10-12$. В связи с этим минимально допустимый размер целика равен 14 м или $7Ry$, а рекомендуемый для строительства $9Ry$ или 18 м, в этом случае практически полностью прекращается взаимовлияние выработок друг на друга.

Анализируя полученные результаты определено, что при коэффициенте крепости породы $f=3-4$ общее влияние выработок наблюдается, все еще при расстоянии между ними равное $7Ry$ и эта тенденция продолжается до размеров целика в $9Ry$. Также, определено, что взаимное влияние забоев распространяется на размер зоны разгрузки, и на длину зоны деформаций сжатия при $7Ry - 9Ry$. Экстремум деформаций сжатия смещен четко по середине между выработками как это наблюдалось при крепости породы $f = 10-12$. Только при размере целика в $11Ry$ прекращается влияние выработок на рассматриваемые зоны за плоскостью забоя.

Также исходя из полученных и проанализированных данных можно утверждать, что при крепости породы $f = 3-4$ минимально допустимое расстояние между параллельными выработками должно быть равным $9Ry$ или 18 м, а не как принято в проектом плане 12 м, то есть 6 приведенных радиусов выработки. Рекомендуемый размер целика $11Ry$, практически полностью прекращает взаимное влияние выработок на контур друг друга.

Расчетный размер целика принятый в плане строительства определен по методике проф. Савина Г. Н. [13], которая гласит, что область влияния одиночной выработки круговой формы сечения в условиях гидростатического поля напряжений простирается в массив на расстояние около $1,5D$ (где, D – приведенный диаметр выработки). Поэтому взаимное влияние выработок теоретически начнет сказываться, когда расстояния между их контурами будет меньше $3D$ или $6Ry$.

Данная методика предлагается к применению на практике. Однако в массивах с негидростатическим распределением напряжений или при ярко выраженной анизотропии упругих свойств пород парные сближенные выработки целесообразно располагать таким образом, чтобы линия их центров совпадала с направлением наибольшего главного напряжения или с направлением в массиве, по которому модуль упругости имеет максимальное значение (например, для слоистого массива – перпендикулярно к слоистости) [13].

В связи с выше перечисленным велика вероятность погрешности используемой методики на практике. Так как она очень обобщена и ее применения иррационально для больших глубин.

Исследования, проводимые обще принятой методикой, охватывали геомеханические вопросы касаемые заложения выработок до 1 км [13, 14].

При сравнении результатов, полученных с помощью компьютерного моделирования и определенных по методике проф. Савина Г. Н. установлена погрешность для минимально допустимого размера целика, которая составляет для пород с крепостью $f = 10-12 - 14\%$ и для $f=3-4 - 33\%$.

Выводы и направление дальнейших исследований. Полученные результаты анализа призабойной области массива горизонтальной горной выработки позволяют сделать вывод о том, что при проведении главного квершлага с площадью поперечного сечения $S_{св} = 18,5 \text{ м}^2$ зона разгрузки достигает длины порядка 4 м. Что позволяет бурить комплект шпуров на полную длину напряженно – деформированного состояния и тем самым максимально использовать потенциал современного импортного оборудования.

Увеличив размер целика между двумя однопутевыми выработками представляется возможность сокращение затрат путем выбора более рационального типа крепи и безопасного использования сооружения на протяжении всего период отработки горизонта.

Также, определено, что при проходке двух однопутевых квершлагов зона разгрузки на разных участках достигает отметки в среднем порядка 3,5 м. Однако в связи с сложной геологией и малой крепостью пород данный показатель не представляет ценности при проходке выработок с использованием шпуров с длиной свыше 2 м. Несмотря на это, данная информация позволяет определить необходимый размер целика между строящимися параллельными выработками и выбрать рациональный тип крепи для обеспечения должного закрепного пространства и долгосрочного использования подземного сооружения.

Список литературы

1. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов / А. А. Борисов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
2. Глушко В. Т. Проявление горного давления в глубоких шахтах/ Т. В. Глушко. - К.: "Науковедумка", 1971. – 196 с.
3. Баклашов И. В. Механика горных пород / И. В. Баклашов, Б. А. Картозия. – М.: Недра, 1975. – 271 с.
4. Лукьянова А. Н. Моделирование контактной задачи с помощью программы ANSYS/ А. Н. Лукьянова. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2014. – 52 с.
5. Клочков В. Ф. Физико-технические основы взрывного разрушения напряженных пород при проведении подземных выработок: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.15.11 / В. Ф. Клочков; Ленинградский горный институт. Л., 1984. – 36 с.
6. Лабінський К. М. Руйнування гірських порід вибуховими речовинами, шпурів заряди яких детонують у неідеальному режимі, при проведенні виробок: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.15.04 / К. М. Лабінський; Донецький національний технічний університет. Д., 2014. – 36 с.
7. Rustan A., (ed.) Cunningham C. Mining and Rock Construction Technology Desk Reference: Rock Mechanics, Drilling & Blasting / A. Rustan CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK, 2011. XI, 454 p.
8. Заславский Б. Б. Краткий курс сопротивления материалов. / Б. Б. Заславский. – Москва: Машиностроение, 1986. – 328 с.
9. Малахов Г. М. Управление горным давлением при разработке рудных месторождений Криворожского бассейна / Г. М. Малахов, М. В. Гуминский. – Киев: Наук. Думка, 1990. – 204 с.
10. Глушков В. Т. Инженерно-геологические особенности железорудных месторождений / В. Т. Глушков, В. Г. Борисенко. – Москва: Недра, 1978. – 253 с.
11. Гребенкин С. С. Управление состоянием массива горных пород: учеб. пособ. для студ./ С. С. Гребенкин, В. Л. Самойлов, «ВИК» – Донецк: «ВИК», 2010.– 191 с.
12. Миндели Э. О. Взрывные работы на глубоких горизонтах шахт / Э. О. Миндели, Л. А. Вайштейн, П. А. Демчук. – Донецк: Донбасс, 1971. – 96 с.
13. Савин Г. Н. Распределение напряжений около отверстий / Г. Н. Савин. Киев: Наукова думка, 1968.– 88 с.
14. Андреев Б. М. Ensuring competitive capacity on the international security market of objects by implementing technological innovations / Б. М. Андреев, Д. В. Бровко, В. В. Хворост. // Mechanisms of interaction between competitiveness and innovation in modern international economic relations. Collective monograph edited by M. Bezpartochnyi. ISMA University Riga (Latvia). – 2017. – С. 202–210.

Рукопись поступила в редакцию 05.04.2018

І.І. ПЕРЕСУНЬКО, асистент, Е.С. БЕДНОВ, аспірант,
В.М. КІЯНЧУК, Ю.В. КУРОЧКІН, студенти, Криворізький національний університет

ДІАГНОСТИКА СТАНУ ПАРАМЕТРІВ СИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ШАХТНИХ НАСОСНИХ УСТАНОВОК

Мета. Є підвищення рівня якості функціонування синхронного електроприводу насосних установок шляхом застосування засобів діагностування та оцінювання їх енергетичного і технічного стану.

Методи дослідження. При проведенні розглянутого в статті дослідження вирішуються шляхом застосування теорії електропривода, теорії електричних кіл та методів: математичного аналізу, аналізу гармонічного складу кривих струмів і напруг, математичного і комп'ютерного моделювання та теорії вимірювань, для створення системи діагностування.

Наукова новизна. Розвинуто метод діагностування електроприводу насосних установок з синхронними двигунами, який враховує показники якості електричної енергії, режим навантаження і поєднує метод складових втрат і спектрального аналізу струмів та напруг, що дозволяє визначити енергетичний і технічний стан досліджуваної електромеханічної системи.

Практична значимість. Визначено діагностичні ознаки електричних та механічних аварійних режимів роботи насосних установок з синхронними двигунами, які дозволяють встановити тип ушкоджень і виконати їх своєчасний ремонт без зриву технологічного процесу

Результати. Основними причинами низької якості функціонування синхронних електроприводів (СЕП) насосних установок (НУ) та виникнення аварій є порушення умов експлуатації, неврахування впливу якості напруги живлення та режиму навантаження, недостатній обсяг інформації про технічний стан, несвоєчасне виявлення і усунення дефектів устаткування, неякісний ремонт тощо. Синхронні електроприводи насосних установок, від надійної і безпечної роботи яких залежать технологічні та економічні показники підприємства не діагностуються постійно під час експлуатації. Особливо гостро ці вимоги пред'являються до електромеханічних систем, які є ланкою безперервного технологічного процесу. Дієвими заходами можуть стати: розроблення засобів діагностування енергетичного і технічного стану та технологічних заходів з економії електроенергії СЕП.

Ключові слова: аварій, електромеханічних систем, діагностування, синхронний електропривод, насосні установки, гармонічні складові кривих струмів та напруг.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-94-98

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На сьогодні близько 70% насосних установок на підприємствах України працюють з перевищенням установленого строку служби, що призводить до низької якості їх функціонування, високої аварійності та виходу з ладу електромеханічного обладнання. Експлуатація електроприводів насосних установок з синхронними двигунами, які знаходяться в незадовільному технічному стані, призводить до збільшення фінансових витрат, зумовлених зростанням електроспоживання. Вартість електроенергії, яку споживає електропривод НУ протягом строку експлуатації, значно перевищує вартість устаткування та витрати на обслуговування і більше ніж в 5 разів перевищує його власну [1].

Аналіз досліджень і публікацій. Чільне місце в дослідженнях з метою підвищення якості функціонування та ресурсу устаткування займає діагностування СЕП. В основу наукових досліджень з діагностування і дослідження характеристик електропривода – М.Г. Баширова, О.С. Бешти, О.Д. Гольдберга, А.П. Калінова, В.Б. Клепікова, М.Ф. Котеленця, В.Ю. Кучерука, А.В. Лугового, В.В. Овчарова, С.М. Пересади, М.Г. Поповича, І.В. Прахова, О.В. Садового, В.Ф. Сивокобиленка, І.А. Сиромятнікова, Д.Й. Родькіна, В.М. Чермалиха, О.П. Чорного, Conrad U. Brunner, F. Carlsson, E. O. Schweitzer.

Постановка задачі. На сьогодні виникла необхідність застосування новітніх технічних рішень і наукових підходів до вирішення проблеми підвищення рівня якості функціонування синхронних електроприводів насосних установок.

Викладення матеріалу та результати. Основними причинами низької якості функціонування синхронних електроприводів (СЕП) насосних установок (НУ) та виникнення аварій є порушення умов експлуатації, неврахування впливу якості напруги живлення та режиму навантаження, недостатній обсяг інформації про технічний стан, несвоєчасне виявлення і усунення дефектів устаткування, неякісний ремонт тощо. Відповідно до цього, дієвими заходами можуть стати: розроблення засобів діагностування енергетичного і технічного стану та технологічних заходів з економії електроенергії СЕП. Визначення ознак аварійних режимів синхронних двигунів [12].

Для того щоб ідентифікувати енергетичний аварійний стан роботи двигунів потрібно сформулювати попередні ознаки струмових пошкоджень в двигуні. В результаті аналізу наступних літературних джерел [7, 8, 9, 10, 11] було визначено ознаки аварійних режимів, які можна представити коротцем

$$C = \{C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7\},$$

де $C1$ – трифазні симетричні КЗ; $C2$ – двофазні (міжфазні) КЗ в одній точці; $C3$ – двофазні КЗ із неоднаковим числом замкнутих витків окремих фаз; $C4$ – двофазні КЗ на землю; $C5$ – однофазні КЗ на землю; $C6$ – однофазні виткові замикання; $C7$ – обрив фази живильної мережі.

Трифазні симетричні КЗ. Найпростішим випадком трифазного КЗ є одночасне замикання трьох фаз в одній точці. За умови рівності перехідних опорів замикання буде симетричним, за нерівності - несиметричним. Векторні діаграми струмів і напруг є симетричними й урівноваженими, у них відсутні складові зворотних і нульових послідовностей. Зі зниженням напруги також різко спадає обертальний момент двигуна ($M \equiv U_2$) фазні обмотки статора перегріваються й згоряють. За цими ознаками можливо визначити наявність внутрішнього симетричного трифазного КЗ. Ударні струми являють велику небезпеку – викликають значні зусилля між струмопроводними частинами устаткування, руйнуючи його й викликаючи нагрівання, що у багато разів перевищує термічну стійкість ізоляції [12].

Двофазні (міжфазні) КЗ в одній точці. Міжфазні КЗ в обмотках статора є основним видом ушкоджень у СД. Вони супроводжуються значними струмами, які значно перевищують номінальний струм двигуна. Аварійні струми викликають руйнування обмоток і сталі двигуна [7]. Найпростішим випадком двофазного КЗ є металічне замикання двох фаз в одній точці, а більш складним - замикання двох фаз через перехідні опори в одній або різних точках мережі [12].

Двофазні КЗ із неоднаковим числом замкнутих витків окремих фаз. Є одним з найбільш імовірних видів міжфазних КЗ. Струми при такому ушкодженні визначаються методом симетричних складових. Різниця кутів між струмами фаз перевищує 60° . Аварійні струми викликають руйнування обмоток і сталі двигуна [12].

Двофазні КЗ на землю КЗ на землю в мережі з ізольованою нейтраллю відрізняються від звичайного двофазного тим, що ушкоджені фази, наприклад В і С, у місці металічного КЗ вимушено набувають потенціалу землі. З'являється напруга нульової послідовності. Сильне зниження міжфазних і фазних напруг ушкоджених фаз (у місці КЗ до нуля) і поява складових нульової послідовності не лише у фазних напругах, але й струмах. Напруга між ушкодженими фазами дорівнює нулю. Напруга неушкодженої фази залишається нормальною. Міжфазні напруги між ушкодженими фазами й неушкодженою знижуються до фазної напруги. Аварійні струми викликають руйнування обмоток і сталі двигуна. Через різке зниження напруги в місці КЗ, цей вид ушкоджень після трифазного КЗ є найважчим з точки зору збереження стійкості енергосистеми й споживачів [12].

Однофазні КЗ на землю. Ушкодження ізоляції обмотки статора призводить до замикання фази на заземлений корпус СД. Існує декілька причин, що викликають замикання на землю. Перша пов'язана з поступовим погіршенням ізоляції до пробою під дією напруги. Друга - пробій у результаті комутаційних перенапруг. Замикання фази на землю в мережі 380В становить небезпеку для двигуна й характеризуються протіканням великих струмів сумірних зі струмами міжфазних КЗ [12].

Однофазні виткові замикання. Коротке замикання 3-5% витків однієї фази обмотки статора СД призводить до неприпустимого перегрівання, що викликає руйнування ізоляції. Основною причиною виникнення виткових замикань є зниження електричної міцності ізоляції обмоток у результаті підвищення температури, старіння, потрапляння вологи й мастила на ізоляцію тощо. У витках, що замкнули, під впливом наведених у них струмів, які значно перевищують номінальний, відбувається різке підвищення температури, що супроводжується нагріванням сталі сердечника й неушкодженої частини обмотки. Це ще більше руйнує її ізоляцію і, якщо вчасно не відключити СД, виткові замикання можуть призвести до більш важких видів аварій [12].

Обрив фази живильної мережі. Дві сполучені послідовно обмотки двигуна виявляються включеними на лінійну напругу. При загальмованому роторі напруга на неушкоджених фазах дорівнює половині лінійної напруги, а напруга на ушкодженій фазі – нулю. Якщо втрата фази відбулася до включення двигуна в мережу, то він не може запуститися навіть за відсутності навантаження на валу. При переході двигуна із трифазного режиму роботи в однофазний на

ходу утвориться обертаючий момент. Якщо швидкість двигуна близька до номінальної, обертаючий момент достатній для продовження роботи з невеликим зниженням [12].

Визначення технічного стану електроприводу насосних установок з синхронними двигунами. Аварійні режими СД умовно поділяються на механічні та електричні. В свою чергу електричні поділяються на три типи: струмові аварії; мережеві аварії; та аварії, пов'язані зі зниженням опору ізоляції [12].

Радіальна вібрація через механічні перевантаження на валу СД, виробничий брак елементів, асиметрія напруги живлення є причинами значної частини механічних аварій. Через прихований характер більшості аварій вони виявляються лише після розбирання СД та НУ або відповідних випробувань [12].

Постійний контроль напруги мережі та струму, що споживається, дозволяє за допомогою засобів діагностування звести цю ймовірність до мінімуму.

Від умов експлуатації залежить енергетичний і технічний стан СД. До них належать вібрації, вологість, температура довкілля, тиск, удари тощо. Наслідком цього у двигунах можуть відбуватись руйнування окремих елементів і спаїв, замикання проводів з ушкодженою ізоляцією, порушення контактів, механічний резонанс, який часто призводить до руйнування конструкції тощо [12].

На теперішній час значне поширення отримали методи діагностування стану ЕМС, які використовують моніторинг споживаного струму та виконують спектрально-струмового аналіз отриманого сигналу [5]. Цей метод дозволяє з достатнім рівнем достовірності встановити технічний стан елементів НУ. Будь-які збурення в роботі механічної і електричної частин двигуна та пов'язаної з ним насосної установки змінюють магнітний потік в зазорі електричної машини, тобто слабкої модуляції струму, що споживається. Свідченням про наявність пошкоджень електричної або механічної частин насосної установки є поява у спектрі струму СД характерних частот певної величини [6]. На відміну від вібродіагностики, моніторинг струму насосної установки може виконуватись в електрощиті живлення або на клемній коробці СД без втручання в його роботу [2, 3]. Спектри струмів СЕП за допомогою програми MATLAB наведено на рис. 1.

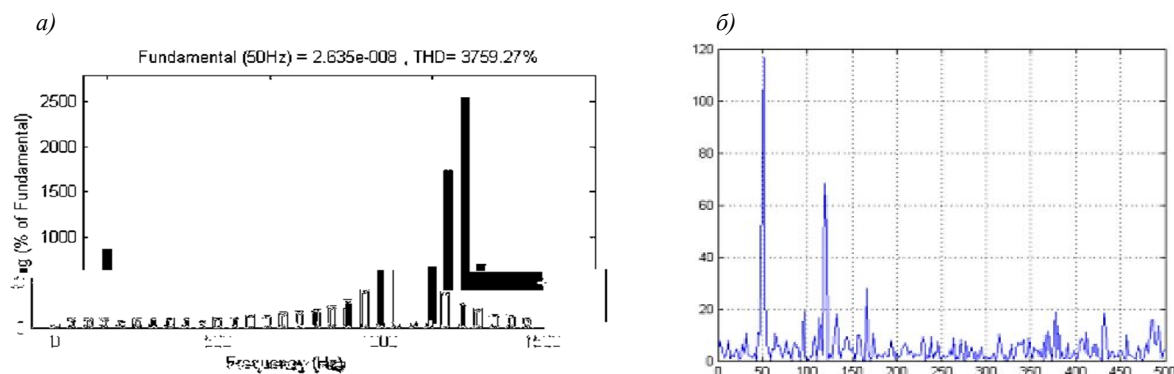


Рис. 1. Спектральна характеристика струму синхронного електроприводу отримана за допомогою блоку "Powergui" (а) та розкладу через "FFT analysis" (б)

Спотворення форми напруги живлення СД призводить до появи гармонік в отриманих спектрах струму і напруги. Несправності двигуна і пов'язаного з ним насоса викликають гармоніки лише в спектрі струму. Наведемо приклади таких пошкоджень:

неспівосність валів двигуна і пов'язаної з ним насосної установки, а також пошкодження підшипників визначається за частотами кратними частоті обертання ротора СД;

наявність міжвиткових замикань в обмотках статора СД визначається за частотою живильної мережі на підприємстві;

ослаблення кріплення до фундаменту, зачіплення ротора за статор двигуна визначається на частоті кратній $\frac{1}{2}$ частоті обертання ротора;

дефекти ремінної передачі визначається на частотах кратних частоті биття ремня, яка залежить від його довжини і діаметрів шківів;

ексцентриситет ротора визначається на численних бічних смугах на частоті непарних гармонік живильної мережі;

пошкодження пов'язані з СД механізмів: насос, вентилятор, компресор визначається на лопатевій частоті.

Виявити гармонічні складові струму характерні для непрацюючого обладнання можливо порівнянням гармонік напруги й струму. Skorиставшись базою даних вимірювань, та аналізуючи їх в процесі експлуатації насосної установки можна спостерігати розвиток пошкоджень двигуна та пов'язаного з ним механізму в динаміці, а отже прогнозувати розвиток несправностей. Показником критичності дефекту може слугувати різниця між амплітудами основної частоти і характерної для конкретної несправності. Спектральні характеристики струму та напруги, пошкодження на НУ та характерні частоти, за якими вони визначаються, отримані за допомогою комп'ютерного моделювання представлені на рис. 1. Вплив дефектів насосної установки на спектри струмів та напруг приводного двигуна представлені у табл. 1.

На сьогодні визначення технічного стану насосної установки з СД, придатного для кількісної оцінки не існує. Технічний стан установки можна визначити за допомогою аналізу складових втрат, за якими діагностується ушкодження у відповідному вузлі, з використанням показника відносної зношеності ізоляції [4].

Поширеним явищем є підвищена зношуваність ізоляції, яка зумовлена порушенням режиму експлуатації СД. Основні чинники, які впливають на зношуваність, – це дія хімічно активних середовищ, теплові дефекти ізоляції, вологість та пил.

Відносна зношеність ізоляції нижча від номінального значення, якщо насосна установка з СД працює зі зниженим навантаженням. Відносна зношеність перевищує одиницю якщо робоча температура вища припустимої.

Тому головною умовою справного технічного стану є відносна зношеність ізоляції за певний цикл часу, яка не повинна перевищувати одиницю.

Таблиця 1

Вплив дефектів насосної установки на спектр струмів та напруг двигуна

Дефект	Зміна параметра																		
	1 гармоніка струму	3 гармоніка струму	5 гармоніка струму	7 гармоніка струму	9 гармоніка струму	13 гармоніка струму	15 гармоніка струму	17 гармоніка струму	19 гармоніка струму	1 гармоніка напруга	3 гармоніка напруга	5 гармоніка напруга	7 гармоніка напруга	9 гармоніка напруга	13 гармоніка напруга	15 гармоніка напруга	17 гармоніка напруга	19 гармоніка напруга	
Знос робочого колеса	+				+			+		+		+							
Знос ущільнення		+		+						+			+		+				
Зміна форми робочого колеса	+			+	+				+	+			+	+		+			
Пошкодження підшипників ковзання	+		+					+		+			+		+				+
Дефекти системи охолодження		+							+									+	
Дефекти клапанів	+					+	+				+				+		+		
Відхилення від горизонтального рівня під час монтажу			+			+		+			+	+						+	+
Дисбаланс		+		+				+				+		+					+
Неспіввісність валів		+				+				+							+	+	

Висновки та напрямок подальших досліджень. Дана робота покликана показати методи діагностування електромеханічних систем і на їх основі вирішити питання підвищення якості

функціонування насосних установок з синхронними двигунами шляхом застосування засобів діагностування їх енергетичного і технічного стану.

Список літератури

1. **Праховник А.В.** Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства України. / [А.В. Праховник, В.В. Прокопенко, В.І. Дешко та ін.]. – Луганськ: вид-во "Місячне сяйво", 2009. - 696 с.
2. **Гольдин А.С.** Вибрация роторных машин / А.С. Гольдин. – М.: Машиностроение, 1999.- 344 с.
3. **Костюков В.Н.** Система контроля технического состояния машин возвратно-поступательного действия / В.Н. Костюков, А.П. Науменко // Контроль. Диагностика. – 2007. - №3.- С. 50-59 с.
4. **Бурковский А.Н.** Нагрев и охлаждение электродвигателей взрывонепроницаемого исполнения / А.Н. Бурковский, Е.Б. Ковалев, В.К. Коробов. – М.: Энергия, 1970. – 184 с.
5. **Петухов В.** Диагностика электродвигателей. Спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения [Электронный ресурс] / В. Петухов // Новости электротехники. - 2008. - №1(49). – Режим доступа до журн. : <http://www.news.elteh.ru/arh/2008/49/10.php>.
6. **Петухов В.** Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока [Электронный ресурс] / В. Петухов, В. Соколов // Новости электротехники. - 2005. - №1(31). - Режим доступа до журн. : <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/31/11.php>.
7. **Чернобровов Н.В.** Релейная защита энергетических систем: Учеб. пособие для техникумов / Н.В. Чернобровов, В.А. Семенов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.
8. **Бендат Дж.** Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ. / Дж. Бендат, А. Пирсол.– М.: Мир, 1989. – 540 с.
9. **Филиппов И.Ф.** Теплообмен в электрических машинах / И.Ф. Филиппов. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 256 с.
10. **Калінов А.П.** Системи діагностики, моніторингу та керування ресурсом роботи електромеханічних комплексів на основі показників якості перетворення енергії. Підсумки роботи і перспективи розвитку наукового напрямку / А.П. Калінов // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Науково-виробничий журнал. – 2009. - №3. - С. 22 – 30.
11. **Романов Р.А.** Современные средства и методики диагностики оборудования горнодобывающей и горноперерабатывающей отрасли согласно концепции "Надежное оборудование" / Р.А. Романов, В.В. Севастьянов, А.П. Печеневский // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – 2008. - №2.
12. **Оборонов Т.Ю.** Моделі і засоби діагностування енергетичного і технічного стану синхронного електроприводу насосних установок /Текст дисертації/ Київ – 2017. – 160 с.

Рукопис подано до редакції 12.04.2018

УДК 536.212.2:519.632.4:517.962.8

Н. Х. САЙГАРЕЄВ, канд. техн. наук, доц., Н. Н. ШАПОВАЛОВА, ст. викладач
Криворізький національний університет

ЧИСЛОВЕ РОЗВ'ЯЗАННЯ КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ БІБЛІОТЕКИ НАУКОВИХ РОЗРАХУНКІВ SCIPY

Мета. Інформатизація суспільства країни – це один з факторів, який кардинально впливає на розвиток економіки, і неможливий без висококваліфікованих кадрів. Випускнику вищого навчального закладу необхідно володіти сформованими базовими професійними компетенціями, що дозволить майбутньому фахівцю стати успішним в умовах конкурентної боротьби на ринку праці. Інформатична компетентність майбутніх інженерів є невід'ємною складовою базових компетенцій. Тому метою роботи є розробка комплексу професійно-спрямованих завдань і бібліотеки їх програмної реалізації для формування компетентностей в широкій предметній області та професійної мобільності майбутніх інженерів-теплоенергетиків.

Методи. Моделювання та розрахунок розподілу температури в технологічних пристроях розглядається на прикладі рішення крайової задачі теплопровідності, яка описується в загальному вигляді диференціальним рівнянням Фур'є. Завдання для нелінійних рівнянь або навіть лінійні задачі, але в областях складної форми, дуже рідко вдається вирішити аналітично. Для вирішення рівняння Фур'є викладено чисельний метод кінцевих різниць, застосування якого дозволяє звести крайову задачу до вирішення систем алгебраїчних рівнянь.

Наукова новизна. Розробка комплексу професійно-спрямованих прикладних задач і бібліотеки програм, що реалізують чисельні методи їх вирішення.

Практична значимість. Робота має міждисциплінарний характер. Її практичне значення полягає в підвищенні якості підготовки майбутніх фахівців. При розрахунках різних типів енергетичних і технологічних систем на стадії пошукового конструювання потрібна всебічна оцінка теплообмінних процесів, знання температурних полів в агрегатах, визначення всіх необхідних енергетичних характеристик з урахуванням експлуатаційних навантажень. Студенти, що опанували рішення диференціальних рівнянь розподілу температури в багатьох процесах тепломасопереносу за допомогою чисельних методів, зможуть використовувати не тільки традиційно застосовані в інженерній практиці залежності та розрахункові співвідношення, а й методи математичного моделювання, що підвищить якість технічних рішень.

© Сайгарєєв Н. Х., Шаповалова Н. Н., 2018

Результати. Розроблено комплекс професійно-спрямованих прикладних задач для підготовки у вищих навчальних закладах майбутніх фахівців напряму «Теплоенергетика», а також бібліотека програм, що реалізують чисельні методи їх вирішення.

Ключові слова: інформатичні компетентності, інформаційно-комунікаційні технології, стаціонарна крайова задача теплопровідності, числові методи, метод скінченних різниць, бібліотека наукових розрахунків SciPy, теплоенергетика.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-98-104

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними задачами. Інформатизація суспільства країни – це один з чинників, що кардинально впливає на розвиток економіки, сприяє організації продуктивної діяльності людини та соціуму в цілому. Інформатизація будь-якої галузі не можлива без висококваліфікованих кадрів. Саме тому випускнику вищого навчального закладу (ВНЗ) необхідно володіти сформованими базовими професійними компетентностями, компетентністю в широкій предметній області та професійною мобільністю, що надасть можливість майбутньому фахівцю стати успішним в умовах конкурентної боротьби на ринку праці. Таким чином, можна стверджувати, що інформатична компетентність майбутніх інженерів є невід'ємною складовою базових компетентностей.

Розвиток науки і техніки, сучасна технологія виробництва ставлять перед проектувальниками і дослідниками завдання, для яких одержання розв'язку класичними методами математичного аналізу або неможливо, або є вкрай громіздким і складним. Звідси виникає необхідність використовувати різні числові методи, які розроблюються обчислювальною математикою й дозволяють одержати кінцевий числовий результат із прийнятною для практичних цілей точністю [1, 2].

При розрахунках різних типів енергетичних і технологічних систем на стадії пошукового конструювання з вибором найбільш оптимального варіанту потрібна всебічна оцінка теплообмінних процесів, знання температурних полів в агрегатах, визначення всіх необхідних енергетичних характеристик з урахуванням експлуатаційних навантажень. Отже майбутній фахівець має володіти навичками і інструментами проектування, моделювання і розв'язання задач в своїй професійній галузі.

Аналіз досліджень і публікацій показав, що перспективним напрямом формування інформативних компетентностей майбутніх інженерів є використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) у процесі навчання та розв'язання професійно-спрямованих задач.

Для розв'язання прикладних інженерних задач доцільним є використання спеціалізованого програмного забезпечення, що надає студентам можливість отримувати розв'язок побудованої математичної моделі задачі, отримувати геометричну інтерпретацію задачі, візуалізувати результати. Одним з таких інструментів є бібліотека мови програмування Python SciPy – це відкрита бібліотека високоякісних наукових інструментів для мови програмування Python. Бібліотека складається з модулів для оптимізації, інтегрування, спеціальних функцій, обробки сигналів, обробки зображень, генетичних алгоритмів, розв'язання диференціальних рівнянь і інших задач, що зазвичай розв'язуються в науці і інженерній практиці. Бібліотека поширюється за умовами ліцензії Berkeley Software Distribution license (BSD), тому без обмежень може використовуватися в навчальних дисциплінах.

Постановка завдання. Розглянемо можливості використання SciPy на прикладі розв'язання задачі теплопровідності.

В основі математичної теорії теплопровідності лежить диференціальне рівняння теплопровідності рівняння Фур'є

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{q_v}{c \cdot \rho}, \quad (1)$$

де t – поточна температура тіла, $t = f(x, y, z, \tau)$; x, y, z – координати точки; τ – час; a – коефіцієнт температуропровідності, $a = \lambda / (c \cdot \rho)$; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу тіла; c – теплоємність матеріалу тіла; ρ – щільність матеріалу тіла; q_v – кількість теплоти, яке виділяється внутрішнім джерелом.

Диференціальне рівняння (1) описує в загальному вигляді задачі теплопровідності. Для вирішення конкретного завдання необхідно до диференціального рівняння приєднати мате-

матичний опис частинних її особливостей – так звані крайові умови або умови однозначності. В результаті розв'язання диференціального рівняння теплопровідності спільно з умовами однозначності можна знайти температурне поле, а на підставі закону Фур'є – відповідні теплові потоки.

Математичні моделі, які описуються нелінійними рівняннями практично неможливо розв'язати аналітично. Слід відзначити велику кількість навчальної літератури, що стосується інженерних методів розрахунку розподілу температури в багатьох процесах тепломасопереносу. Не менша й кількість фундаментальних науково-дослідних монографій з теорії числових методів розв'язання крайових задач. Але у розв'язанні актуальних типових задач в даний час використовуються залежності та розрахункові співвідношення, що застосовуються в інженерній практиці [3-5].

Стаття присвячена практичному застосуванню відомих числових методів для розв'язання стаціонарних крайових задач теплопровідності і теплопередачі. Серед них найчастіше застосовують метод скінченних різниць (МСР) [6, 7] завдяки його універсальності й наявності добре розробленої теорії. Його реалізація складається з трьох етапів:

в області інтегрування вихідного диференціального рівняння встановлюють деяку сітку, що складається в залежності від розмірності задачі з відрізків, прямокутників або паралелепipedів;

записують різницеву схему, приблизно заміняючи всі похідні, що входять у рівняння й крайові умови, відповідними скінченнорізницевиими співвідношеннями за відповідними незалежними змінними;

різницеву схему записують для кожного вузла сітки, у результаті чого виходить система алгебраїчних рівнянь.

Вирішуючи цю систему, знаходять наближений розв'язок задачі у вузлах сітки.

Знайдемо розподіл температур в квадратній однорідній пластині зі стороною d , рівною чотирьом безрозмірним одиницям, якщо на верхній стороні підтримується постійна температура, рівна 10 безрозмірним одиницям, а на трьох інших сторонах – 0 безрозмірних одиниць за умови, що теплообмін між боковою поверхнею пластини з навколишнім середовищем відсутній.

Викладення матеріалу та результати. Спочатку виконаємо фізичну і математичну постановку задачі, враховуючи наступні міркування:

за умовами задачі потрібно знайти вже усталене розподіл температур, який є стаціонарним, оскільки з часом не змінюється, тобто $\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0$;

джерела теплоти всередині пластини відсутні, тобто $q_v = 0$;

через плоскопаралельного розподілу температур товщина пластини не істотна, тобто $\frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0$.

Підстановка перерахованих спрощень в диференціальне рівняння теплопровідності (1) дозволяє розглянути стаціонарний процес розподілу температур без внутрішніх джерел тепла математично описати диференціальним рівнянням Лапласа

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0 \quad (2)$$

з крайовими умовами $t(x=-0,5d)=0$; $t(x=0,5d)=0$; $t(y=0)=0$; $t(y=d)=10$.

Така крайова задача являє собою внутрішню задачу Діріхле або першу крайову задачу, а самі умови – умови Діріхле або перші крайові умови, коли відомо значення шуканої функції на всій межі області [8].

Для застосування МСР побудуємо на області інтегрування сітку із кроком h_x уздовж осі x і з кроком h_y уздовж осі y . Позначимо точки розподілу осі x як $x_k = x_0 + k \cdot h_x$, а точки розподілу осі y як $y_i = y_0 + i \cdot h_y$. Значення функції в точці з координатами (x_k, y_i) позначимо $t_{i,k}$ (рис. 1а).

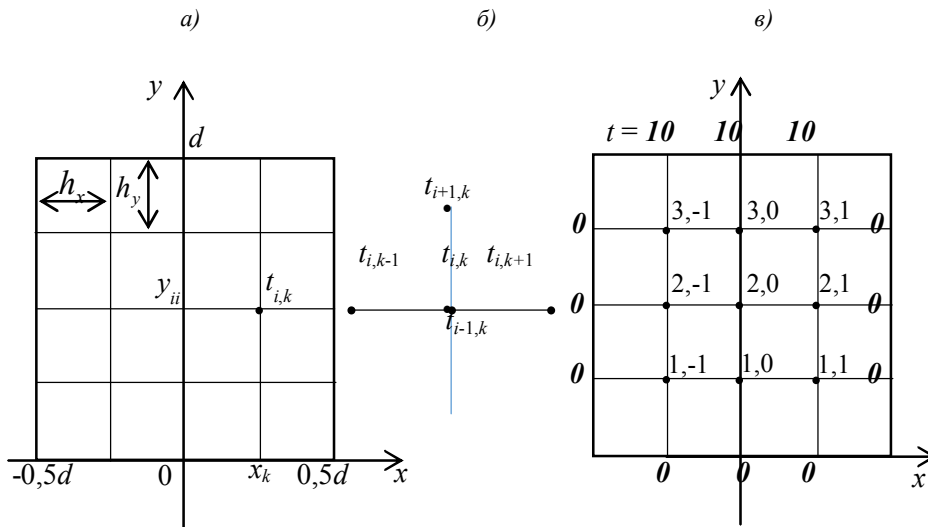


Рис. 1. Скінченнорізницева сітка

Частинні похідні замінимо скінченнорізницевими відношеннями, використовуючи при цьому значення функції у вузлах, сусідніх з вузлом i, k (рис. 1б)

$$\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{i,k} = \frac{t_{i,k+1} - t_{i,k-1}}{2h_x}; \quad \left(\frac{\partial t}{\partial y}\right)_{i,k} = \frac{t_{i+1,k} - t_{i-1,k}}{2h_y};$$

$$\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right)_{i,k} = \frac{t_{i,k-1} - 2t_{i,k} + t_{i,k+1}}{h_x^2}; \quad (3)$$

$$\left(\frac{\partial^2 t}{\partial y^2}\right)_{i,k} = \frac{t_{i-1,k} - 2t_{i,k} + t_{i+1,k}}{h_y^2}. \quad (4)$$

Підставимо (3), (4) в рівняння Лапласа (2) і одержимо алгебраїчне рівняння із п'ятьма невідомими

$$h_x^2 t_{i,k-1} + h_x^2 t_{i,k+1} + h_y^2 t_{i-1,k} + h_y^2 t_{i+1,k} - 2(h_x^2 + h_y^2) t_{i,k} = 0. \quad (5)$$

Зобразимо це рівняння схематично

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline & h_y^2 & \\ \hline h_x^2 & -2(h_x^2 + h_y^2) & h_x^2 \\ \hline & h_y^2 & \\ \hline \end{array} \times t = 0. \quad (6)$$

Ця схема показує, що відповідно до шаблону (рис. 1б) при складанні рівняння для довільного внутрішнього вузла сітки необхідно функцію цього вузла помножити на коефіцієнт $-2(h_x^2 + h_y^2)$, а функцію сусіднього зверху вузла – на h_y^2 , тощо.

Для конкретності нанесемо на область інтегрування сітку вузлів розміром 4×4 (рис. 1а) і одержимо 9 внутрішніх вузлів, у яких необхідно визначити функцію t . В інших вузлах значення функції відомо із крайової умови (2). Кількість невідомих можна істотно скоротити, якщо врахувати, що розподіл значень t симетричний відносно вісі ординат y . Будемо розглядати лише половину всієї області (рис. 1в, де курсивом виділено значення температури для кожного граничного вузла сітки по периметру пластини). Крайовими умовами для межі, що збігається з віссю y , будуть умови симетрії: $t_{3,-1} = t_{3,1}$; $t_{2,-1} = t_{2,1}$; $t_{1,-1} = t_{1,1}$. З урахуванням симетрії схема (6) запису рівнянь перетвориться в такий спосіб

$$\begin{array}{|c|c|} \hline h_y^2 & \\ \hline -2(h_x^2 + h_y^2) & 2 h_x^2 \\ \hline h_y^2 & \\ \hline \end{array} \times t = 0. \quad 0. \quad (7)$$

Використовуючи схеми (6) і (7), складемо в матричному вигляді різницеву систему рівнянь. Робимо це в такий спосіб. Наприклад, встановлюючи рівняння для вузла (2,0), за схемою (7) бачимо, що змінну $t_{2,1}$ (сусідній праворуч вузол) необхідно помножити на $2h_x^2$, а змінні $t_{1,0}$ і $t_{3,0}$ – на h_y^2 . Випишемо ці коефіцієнти в третій рядок матриці (рядок для $t_{2,0}$ у стовпці, що відповідають зазначеним змінним). Всі елементи головної діагоналі матриці однакові й рівні $-2(h_x^2 + h_y^2)$. Клітки матриці, що залишилися вільними, фактично містять нульові коефіцієнти.

$t_{1,0}$	$t_{1,1}$	$t_{2,0}$	$t_{2,1}$	$t_{3,0}$	$t_{3,1}$
$-2(h_x^2 + h_y^2)$	$2h_x^2$	h_y^2			
h_x^2	$-2(h_x^2 + h_y^2)$		h_y^2		
h_y^2		$-2(h_x^2 + h_y^2)$	$2h_x^2$	h_y^2	
	h_y^2	h_x^2	$-2(h_x^2 + h_y^2)$		h_y^2
		h_y^2	h_x^2	$-2(h_x^2 + h_y^2)$	$2h_x^2$
			h_y^2	h_x^2	$-2(h_x^2 + h_y^2)$

$t_{1,0}$	0
$t_{1,1}$	0
$t_{2,0}$	0
$t_{2,1}$	0
$t_{3,0}$	-10
$t_{3,1}$	-10

Оскільки $h_y = h_x = 1$, система алгебраїчних рівнянь має наступний вигляд

$$\begin{aligned}
 -4t_{1,0} + 2t_{1,1} + t_{2,0} &= 0; \\
 t_{1,0} - 4t_{1,1} + t_{2,1} &= 0; \\
 t_{1,0} - 4t_{2,0} + 2t_{2,1} + t_{3,0} &= 0; \\
 t_{1,1} + t_{2,0} - 4t_{2,1} + t_{3,1} &= 0; \\
 t_{2,0} + t_{2,1} - 4t_{3,0} + 2t_{3,1} &= -10; \\
 t_{2,1} + t_{3,0} - 4t_{3,1} &= -10.
 \end{aligned}$$

Істотного скорочення часу розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь великого порядку можна домогтися, застосовуючи наближені (ітераційні) методи [9]. При цьому необхідно задану систему привести до нормального вигляду, зручного для реалізації ітераційних методів

$$\begin{aligned}
 t_{1,0} &= (2t_{1,1} + t_{2,0})/4; \\
 t_{1,1} &= (t_{1,0} + t_{2,1})/4; \\
 t_{2,0} &= (t_{1,0} + 2t_{2,1} + 3t_{3,0})/4; \\
 t_{2,1} &= (t_{1,1} + t_{2,0} + t_{3,1})/4; \\
 t_{3,0} &= (t_{2,0} + t_{2,1} + 2t_{3,1} + 10)/4; \\
 t_{3,1} &= (t_{2,1} + t_{3,0} + 10)/4.
 \end{aligned}$$

Скористаємося одним з найпоширеніших ітераційних алгоритмів – методом Гауса-Зейделя [10]. Ітераційний процес обчислення коренів системи зазвичай продовжують до виконання умови $\|\mathbf{T}^{(m+1)} - \mathbf{T}^{(m)}\|_{1,2,3} \leq \varepsilon$, де $\|\mathbf{T}^{(m+1)} - \mathbf{T}^{(m)}\|_{1,2,3}$ – будь-яка з трьох норм вектора різниці двох $\mathbf{T}^{(m+1)}$ і $\mathbf{T}^{(m)}$ наближених розв'язків системи алгебраїчних рівнянь, отриманих на $(m+1)$ і m ітераціях; ε – задана (обрана) похибка розв'язку системи різницевих рівнянь.

Для програмної реалізації методу створимо власну бібліотеку числових методів nmethods (рис. 2).

```

import numpy as np

def seidel(A, b, eps):
    n = len(A)
    x = [.0 for i in range(n)]
    converge = False
    while not converge:
        x_new = np.copy(x)
        for i in range(n):
            s1 = sum(A[i][j] * x_new[j] for j in range(i))
            s2 = sum(A[i][j] * x[j] for j in range(i + 1, n))
            x_new[i] = (b[i] - s1 - s2) / A[i][i]
        converge = sqrt(sum((x_new[i] - x[i]) ** 2 for i in range(n))) <= eps
    x = x_new
    return x

```

Рис. 2. Створення методу seidel у власній бібліотеці nmethods

Використаємо метод seidel для розв'язання системи рівнянь методом Гауса-Зейделя, імпортувавши його з бібліотеки nmethods (рис. 3).

```
import numpy
import nmethods
a = numpy.array([[ -4., 2., 1., 0 , 0 , 0 ],
                 [ 1.,-4., 0 , 1., 0 , 0 ],
                 [ 1., 0.,-4., 2., 1., 0 ],
                 [ 0 , 1., 1.,-4., 0 , 1.],
                 [ 0 , 0 , 1., 1.,-4., 2.],
                 [ 0 , 0 , 0 , 1., 1.,-4.]])
b = numpy.array([0, 0, 0, 0, -10.,-10.])
nmethods.seidel(a, b, 0.00001)

array([ 1.0714253 ,  0.76785547,  2.74999638,  1.99999819,  5.9285691 ,
        4.48214182])
```

Рис. 3. Розв'язання системи рівнянь

Отримані значення температури для кожного вузла сітки наведені в табл. 1. Внаслідок симетрії задачі виведені значення лише у вузлах правої половини квадратної області інтегрування.

Таблиця 1

Числовий і аналітичний розв'язок в вузлах сітки

Індекси вузла сітки	1,0	1,1	2,0	2,1	3,0	3,1
Розв'язок через МСР	1,07	0,77	2,75	2,0	5,93	4,48
Розв'язок через функції Бесселя	0,95	0,68	2,50	1,82	5,40	4,32

Як видно з цих даних, результати розв'язку МСР, які отримані при досить великому кроці, добре відповідають результатам розв'язання диференційного рівняння Лапласа, рішенням якого виступають функції Бесселя [10]. Це свідчить про достовірність обчислювального експерименту. Для підвищення точності наближених результатів необхідно зменшити крок побудови сітки.

Якщо з'єднати всі точки тіла з однаковою температурою, то отримаємо поверхню рівних температур, звану ізотермічною. Так як в певній точці тіла в даний момент часу може бути тільки одна температура, ізотермічні поверхні не перетинаються; всі вони або замикаються на себе, або закінчуються на межі тіла. Перетин ізотермічних поверхонь площиною дає на ній сімейство ізотерм. Інтенсивність зміни температури в якомусь напрямі характеризується похідною, приймаючою найбільше значення в напрямку нормалі до ізотермічної поверхні.

Графічне зображення функції двох змінних можливо на площині за допомогою ізоліній (ліній рівного значення будь-якої величини) або в просторі за допомогою поверхні. На рис. 4 ліворуч показана контурна діаграма, на якій кольори представляють інтервали значень, а праворуч показана поверхня функції t .

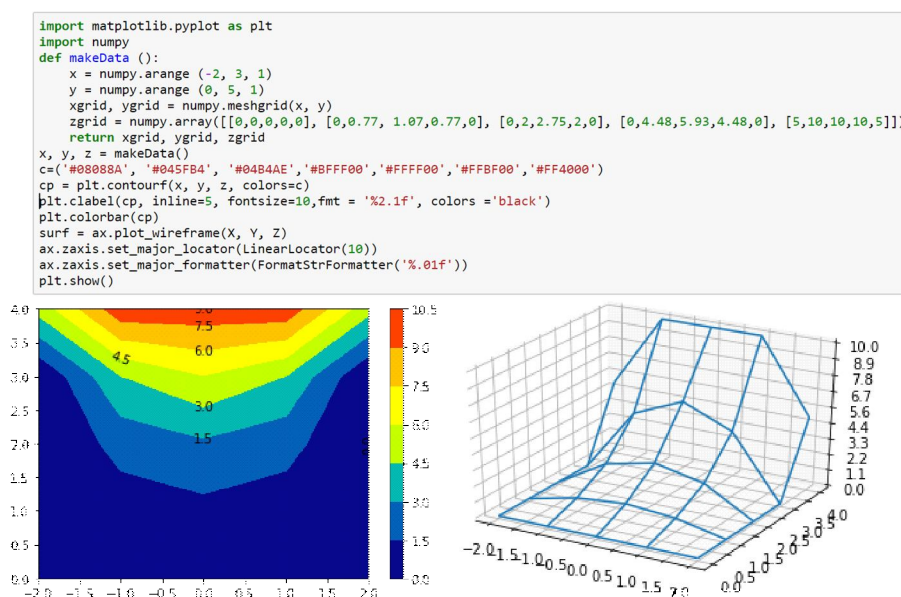


Рис. 4. Розподіл температури у пластині

Таким чином за допомогою числового методу скінченних різниць отримано розподіл температури в квадратній пластині. Слід зазначити, що якщо межа області інтегрування криволінійна, то, природно, що багато вузлів прямокутної сітки не потраплять на межу, і урахування умов ускладниться. У цьому випадку криволінійна межа приблизно замінюється ламаною лінією, а значення функції на криволінійній межі переносяться у найближчі вузли з виправленням, зробленим лінійною інтерполяцією.

Проведені обчислювальні експерименти показали можливість досить точно визначати температурні поля теплоенергетичних пристроїв і розв'язувати задачі теплопровідності та теплопередачі за допомогою власної бібліотеки числових методів.

Висновки та напрямок подальших досліджень. При підготовці майбутніх інженерів слід приділяти увагу розвитку не лише фаховим, а й загальним компетентностям, що сприяє подальшому професійному зростанню студентів та робить їх конкурентоспроможними на вітчизняному та світовому ринках праці. Застосування спеціалізованого програмного забезпечення для вирішення прикладних задач в навчанні інформатичних дисциплін забезпечує розвиток навчальної активності студентів, креативності, надає можливість забезпечити міждисциплінарний зв'язок і сприяє розвитку професійних та інформатичних компетентностей майбутніх інженерів-теплоенергетиків.

Список літератури

1. **Карташев Э. М.** Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел / Э. М. Карташев; изд. 3-е, перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 2001. – 550 с.
2. **Исаченко В. П.** Теплопередача : учеб. для вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел; – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоиздат, 1981. – 416 с.
3. **Краснощекоев Е. А.** Задачник по теплопередаче: учеб. пособие для вузов / Е. А. Краснощекоев, А. С. Сукомел. – М. : Энергия, 1980. – 288 с.
4. **Демидович Б. П.** Основы вычислительной математики / Б. П. Демидович, И. А. Марон. – М. : Наука, 1970. – 583 с.
5. **Копченова Н. В.** Вычислительная математика в примерах и задачах / Н. В. Копченова, И. А. Марон. – М. : Наука, 1972. – 368 с.
6. **Крейт Ф.** Основы теплопередачи / Ф. Крейт, У. Блэк; пер. с англ. – М. : Мир, 1983. – 512 с.
7. **Михеев М. А.** Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М. : Энергия, 1977. – 344 с.
8. **Юдаев Б. Н.** Теплопередача : учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1981. – 319 с.
9. **Волков Е. А.** Численные методы : учеб. пособие / Е. А. Волков – М. : Наука, 1982. – 256 с.
10. **Рыбальченко Г. Н.** Численные методы решения задач строительства на ЭВМ : учеб. пособие / Г. Н. Рыбальченко. – К. : УМК ВО, 1989. – 148 с.
11. **Вінніченко Є. Ф.** Розвиток творчих здібностей старшокласників у процесі навчання інформаційних технологій розв'язування математичних задач : дис. ...канд. пед. наук: 13.00.02 – теорія та методика навчання інформатики / Євгеній Федорович Вінніченко ; Нац. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. – К., 2006. – 234 с.

Рукопис подано до редакції 28.11.2017

УДК 622.788

С.Г. САВЕЛЬЕВ, канд. техн. наук, доц.

Криворожский национальный университет

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ОКИСЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

Целью работы является сравнительный анализ интенсивности работы основных технологических агрегатов фабрик окомкования – окомкователей железорудной шихты и установок для упрочняющего окислительного обжига сырых окатышей.

Методы научного исследования. В работе использованы общелогические методы научного исследования – анализ и синтез, аналогия, обобщение.

Научная новизна работы состоит в развитии представлений о теоретических методах расчета удельной производительности окомкователей и трубчатых вращающихся печей для обжига окатышей, работающих в составе комбинированных установок, включающих колосниковую решетку, вращающуюся печь, кольцевой охладитель (РПО). Выполнен сравнительный расчет удельных поверхностных и объемных производительностей промышленных окомкователей различных типов и размеров. Показано, что факторы, снижающие потребность слоя во внешнем теплоносителе и увеличивающие его газопроницаемость, повышают производительность зон и обжигового агрегата в целом.

Выведена формула для расчета удельной поверхностной производительности вращающейся печи для обжига окатышей на установке РПО.

Практическая значимость работы заключается в получении конкретных значений удельных поверхностных и объемных производительностей промышленных окомкователей различных типов, а также удельных поверхностных производительностей установок РПО, что позволяет принимать более обоснованные решения при разработке технико-экономических обоснований и технологических заданий на проектирование строительства новых фабрик по производству окисленных железорудных окатышей.

Результаты работы. Показано непрерывное увеличение мирового объема производства железорудных окатышей как экстенсивными (пуском в эксплуатацию новых агрегатов для производства окатышей и новых фабрик окомкования), так и интенсивными (совершенствованием применяемых технологий и оборудования) путями. Установлено, что средняя интенсивность процесса окомкования в тарельчатых окомкователях в 4,2 раза выше, чем в барабанных окомкователях; что общеагрегатная интенсивность термообработки сырых окатышей на установках РПО составляет 0,34-0,45 т/(м² гор. час), что составляет лишь 26-37 % лучших значений интенсивности термообработки окатышей на обжиговых машинах конвейерного типа.

Ключевые слова: интенсивность, процесс, окомкование, обжиг, удельная производительность, окатыши.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-104-109

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Современный уровень развития черной металлургии характеризуется непрерывным увеличением производства железорудных окатышей, являющихся, наряду с агломератом, одним из основных видов сырья для доменных печей. Так, в период с 2001 по 2010 гг. среднее ежегодное мировое увеличение производства окатышей составляло 16,5 млн т, достигнув в 2010 году 388,1 млн т [1]. В последующие пять лет объем производства окатышей в мире возрос до 408 млн т и по прогнозам экспертов в 2020 году мировое потребление окатышей достигнет 493 млн т, то есть ежегодное увеличение составит около 4,2 % [2].

Рост объемов производства окатышей осуществляется как экстенсивными (пуском в эксплуатацию новых фабрик и агрегатов), так и интенсивными (совершенствованием технологии и оборудования, в том числе повышением уровня автоматического управления технологическими процессами и агрегатами [3, 4]) путями. Только в последнее время были построены и пущены в эксплуатацию с усовершенствованным оборудованием и технологией фабрика окомкования Стойленского ГОКа (2016 г.) производительностью 6,0 млн т/год, а также комплекс обжиговой машины № 3 Михайловского ГОКа (2015 г.) производительностью 5,0 млн т/год. В результате модернизации по методологии ВНИИМТ действующих обжиговых конвейерных машин в период 2002-2009 гг. на Качканарском и Лебединском ГОКах, а также ССПО и ОЭМК достигнуто суммарное увеличение производства окатышей на 1,9 млн т/год, снижение расхода газа на 25 млн м³ и электроэнергии на 38 млн кВт ч [5].

В этой связи является актуальным анализ показателей интенсивности процессов производства железорудных окатышей, позволяющих дать сравнительную оценку эффективности различных способов производства и приемов усовершенствования технологии и оборудования фабрик окомкования.

Анализ исследований и публикаций. К оценке интенсивности процесса окомкования сыпучих материалов – первого этапа производства окатышей – можно подходить двояко [6]: 1) как скорости возрастания крупности окомковываемого материала, и в этом случае интенсивность окомкования будет определяться приращением среднего размера гранул шихты в единицу времени; 2) как массе окомкованной шихты определенного качества, получаемой в единицу времени, или обратной величине – времени, необходимому для получения единицы массы окомкованной шихты; с повышением интенсивности окомкования первая величина увеличивается, а вторая – уменьшается. Характерной особенностью первого подхода, более предпочтительного для оценки интенсивности окомкования агломерационной шихты, является привязка показателя интенсивности к изменению параметра единичных гранул – их линейного размера. Второй подход базируется на изменении параметра, характеризующего эффективность получения совокупности множества готовых гранул – их массы или необходимого времени окомкования, и поэтому предпочтителен при получении сырых окатышей. В последнем случае, с целью получения показателей интенсивности, сопоставимых для окомкователей различной мощности, их следует представлять в виде удельной интенсивности, то есть относить к характеристике, определяющей его ключевой конструктивно-технологический параметр. В качестве такого параметра окомкователя целесообразно использовать площадь его рабочей поверхности или объ-

ем рабочего пространства. При этом показатели интенсивности получения сырых окатышей будут иметь размерность в системе СИ соответственно $\text{кг}/(\text{м}^2 \text{ с})$ и $\text{кг}/(\text{м}^3 \text{ с})$.

Аналогично показателям интенсивности процесса окомкования, интенсивность процесса упрочняющего обжига сырых окатышей – второго этапа производства этого вида окускованного сырья – целесообразно представить как удельную производительность обжигового агрегата, что является повсеместной практикой [7, с. 69, табл. 4, с. 223]. В зависимости от применяемых в промышленности способов упрочняющего обжига железорудных окатышей, удельную производительность можно выразить как массу обожженных окатышей, производимых в единицу рабочего («горячего») времени на единице рабочей площади обжиговой конвейерной машины или в единице рабочего объема шахтной печи. В случае обжига окатышей на комбинированной установке «решетка-печь-охладитель» (РПО) решающее значение имеет удельная поверхностная или объемная производительность основного агрегата для термообработки окатышей – вращающейся обжиговой печи. В современных условиях удельная производительность обжиговых конвейерных машин составляет 0,9-1,2 т/м² гор. час [1] или 0,25-0,33 кг/м² гор. с.

Постановка задачи. Задача настоящей работы заключается в анализе показателей интенсивности двух основных этапов производства окисленных окатышей – получения сырых окатышей и их упрочняющего обжига.

Изложение материала и результаты. Анализ показателей интенсивности получения сырых окатышей в окомкователях различных типов. Можно считать, что удельная производительность окомкователя $q_{ок}$ главным образом зависит от удельной интенсивности передачи уплотняющей энергии (мощности) от окомкователя к шихте, а также комкуемости шихты $K_{ш}$. Тогда общий вид формулы для расчета удельной поверхностной производительности окомкователя получит следующее выражение, $\text{кг}/(\text{м}^2 \text{ с})$

$$q_{ок} = k (N/S) K_{ш}, \quad (1)$$

где k – коэффициент пропорциональности (если $K_{ш}$ – безразмерная величина, то k имеет размерность $\text{с}^2/\text{м}^2$); N – мощность, передаваемая от окомкователя к шихте (зависит от размера и конструкции окомкователя, а также режима его работы), Вт; S – площадь рабочей поверхности окомкователя, м².

Практическое использование формулы (1) затруднено из-за сложности точного выделения из общей мощности привода окомкователя той ее части, которая расходуется непосредственно на окомкование шихты, а также определения числового значения коэффициента пропорциональности. Более простым является экспериментальный способ определения удельной производительности окомкователя, при котором производительность агрегата при оптимальном режиме работы относят к его рабочей площади или объему. Результаты расчета по этому способу показателей интенсивности получения сырых окатышей (поверхностной и объемной) в основных промышленных типах окомкователей – чашевых (1) и барабанных (2) – на основании паспортных данных о производительности агрегатов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Конструктивные и технологические характеристики промышленных окомкователей

Тип окомкователя	Размеры рабочей зоны				Производительность (паспортная), т/час [171, с. 280]	Интенсивность окомкования		
	диаметр, м	длина, м	площадь, м ²	объем, м ³		кг/(м ² с)	кг/(м ³ с)	
1	ОЧ 5500	5,5	0,80	23,746	18,997	35	0,409	0,512
	ОЧ 7000	7,0	0,60	38,465	23,079	85	0,614	1,023
	ОЧ 7500	7,5	0,47	44,156	20,753	120	0,755	1,606
2	2,8 × 11	2,8	11	96,712	67,698	40	0,115	0,164
	3,6 × 10	3,6	10	113,040	101,736	100	0,246	0,273
	3,6 × 14	3,6	14	158,256	142,430	95	0,167	0,185

По данным табл. 1 можно сделать следующие выводы. Во-первых, с увеличением размеров окомкователей, как чашевых, так и барабанных, интенсивность окомкования, как правило, повышается, что можно объяснить оптимизацией соотношения размеров рабочего пространства окомкователей более поздних (и более крупных) моделей. Этот взвод противоречит мнению [9, с. 237] о том, что «небольшие диски работают эффективнее крупных – удельная производительность последних ниже». При этом автор приводит заниженную более чем в полтора раза производительность тарельчатых окомкователей, утверждая, что она достигает 40 т/(м² сут.), то

есть 0,463 кг/м² с.

Во-вторых, интенсивность окомкования в чашевых окомкователях в среднем в 3,4 (по поверхностной интенсивности) и 5,1 (по объемной интенсивности) раза выше, чем в барабанных окомкователях, что обусловлено конструктивными особенностями каждого типа окомкователя (в чашевых окомкователях выше динамические нагрузки на окомковываемый материал), а также более высокой оптимальной степенью заполнения рабочего пространства чашевых окомкователей обрабатываемым материалом по сравнению с барабанными окомкователями (соответственно ≥ 15 и ≤ 2 [10, с. 163] или 3-5 [11, с. 146] %). Указанные обстоятельства существенно усиливают передачу энергии от окомкователя к окомковываемому материалу, что приводит к увеличению интенсивности окомкования.

В-третьих, абсолютные значения объемной интенсивности окомкования выше, чем поверхностной интенсивности в тех же условиях процесса. Это свидетельствует об участии объемных параметров рабочей зоны в процессе окомкования, наряду с поверхностью окомкования, где происходит накатывание комкуемой фракции на зародыши и растущие гранулы. С увеличением размеров окомкователей превышение объемной интенсивности над поверхностной у чашевых окомкователей повышается, а у барабанных – снижается. При этом средние значения превышения объемной интенсивности над поверхностной у чашевых окомкователей почти в 1,4 раза выше, чем у барабанных окомкователей. Указанные отличия обусловлены особенностями изменения соотношения геометрических параметров рабочей зоны чашевых окомкователей с увеличением ее объема, в частности, уменьшением отношения высоты борта чаши к диаметру днища.

Последние два результата анализа показателей интенсивности окомкователей разных типов указывают на преимущества чашевых грануляторов по сравнению с барабанными. Аналогичный взвод сделан в работе [12] на основании сопоставления технико-экономических показателей работы барабанных окомкователей Михайловского ГОКа и тарельчатых окомкователей Северного ГОКа.

Анализ показателей интенсивности процессов упрочняющего обжига окатышей. Выполним анализ удельной производительности наиболее распространенного агрегата в практике промышленного производства железорудных окатышей – обжиговой машины конвейерного типа, – доля которого в мировом объеме производства окатышей составляет около 60 % [1].

Известно [7, с. 60], что удельная производительность обжигового агрегата зависит от удельной производительности каждой его технологической зоны, и может быть представлена следующим уравнением

$$q_m = 1/(1/q_c + 1/q_{об} + 1/q_{ох}), \quad (2)$$

где q_m , q_c , $q_{об}$, $q_{ох}$ – удельная производительность соответственно агрегата и зон сушки, обжига и охлаждения, т/(м² ч).

Удельная производительность обжигового агрегата будет максимальной, когда удельная производительность каждой зоны будет максимально возможной, а распределение площади по зонам будет таким, что лимитирующими в равной степени будут все зоны, а не какая-либо отдельная зона. Математически это положение определяется по условию [13, с. 96]

$$q_m = \psi_c q_c = \psi_{об} q_{об} = \psi_{ох} q_{ох},$$

где ψ_c , $\psi_{об}$, $\psi_{ох}$ – относительная площадь зон сушки, обжига и охлаждения соответственно, дол. ед.

Очевидно, что удельная производительность каждой отдельной технологической зоны обжиговой машины определяется теплотребностью слоя и скоростью подачи тепла в слой согласно зависимости [7, с. 60]

$$q_z = \Pi/F_z = V_z/v_z,$$

где q_z – зональная удельная производительность, т/(м² ч); Π – часовая производительность агрегата по готовой продукции, т/ч; F_z – площадь зоны, м²; V_z – удельная скорость фильтрации газа-теплоносителя, м³/(м² ч); v_z – удельная потребность слоя окатышей в газе-теплоносителе, м³/т готовой продукции.

В свою очередь, удельная скорость фильтрации газа-теплоносителя лимитируется параметрами исходного сырья и возможностями тягодутьевых средств, а удельная теплотребность слоя окатышей в каждой технологической зоне зависит от необходимой степени его нагрева (температуры) и расхода тепла на протекание физико-химических процессов. Отсюда следует, что факторы, снижающие потребность слоя во внешнем теплоносителе и увеличивающие его

газопроницаемость, повышают производительность зон и обжигового агрегата в целом.

Из двух возможных показателей удельной производительности вращающейся печи для обжига окатышей – поверхностной и объемной – более предпочтительной для практического применения является поверхностная удельная производительность, поскольку ее размерность соответствует размерности показателей удельной производительности двух других агрегатов комбинированной установки – движущейся решетке и кольцевому охладителю, – что позволяет определить суммарную удельную производительность комбинированной установки.

Выведем формулу для расчета удельной поверхностной производительности вращающейся печи для обжига окатышей – основного агрегата комбинированной установки «решетка-печь-охладитель» (РПО). Производительность вращающейся печи по готовым окатышам Q , кг/с, как транспортирующего агрегата, представляет собой произведение трех составляющих – скорости движения окатышей по длине печи v_o , м/с, площади поперечного сечения окатышей в печи F_o , м² и насыпной плотности окатышей ρ , кг/м³. Заменяв площадь поперечного сечения окатышей в печи произведением площади поперечного сечения печи на степень заполнения печи окатышами Φ , дол. ед., и разделив производительность печи на ее рабочую поверхность, после сокращений получим формулу удельной поверхностной производительности вращающейся печи q_s , кг/м² с

$$q_s = 0,25D \Phi v_o \rho / L, \quad (3)$$

где D и L – соответственно внутренний диаметр и длина печи, м.

Анализ формулы (3) показывает, в частности, что интенсивность обжига будет повышаться с увеличением диаметра печи и степени ее заполнения окатышами. Что касается скорости движения окатышей по длине печи, определяющей, наряду с длиной обжигового агрегата, время пребывания окатышей в печи, то именно этот технологический параметр, с учетом температурного режима в печи, должен обеспечить необходимый уровень развития процессов, происходящих при обжиге окатышей, от которых зависят свойства готового продукта.

Расчет по формуле (2) суммарной удельной производительности современных комбинированных установок РПО для обжига окатышей, построенных компанией Кобе Стил Лтд. (Япония) в Иране, Бразилии, Омане в 2007-2010 гг. [14], показал, что интенсивность термообработки окатышей агрегатами такого типа находится на уровне 0,34-0,45 т/(м² гор. час), что составляет лишь 26-37 % лучших значений интенсивности термообработки окатышей на обжиговых машинах конвейерного типа. Полученный результат объясняется сравнительно низкой удельной поверхностной производительностью трубчатой печи по сравнению с машинами в виде движущейся решетки, что обусловлено особенностями теплопередачи в каждом из агрегатов. Более низкая интенсивность термообработки окатышей на комбинированных установках в некоторой степени компенсируется лучшими по сравнению с другими агрегатами показателями качества окатышей, а также меньшими эксплуатационными расходами.

В связи с вышеприведенными значениями удельной производительности комбинированных установок РПО для обжига железорудных окатышей, обращает внимание неточность, допущенная в работе [15, с. 45] и других аналогичных изданиях института Укрگیпромез, посвященных обобщению работы фабрик окускования Минчермета СССР, при указании удельной производительности обжиговых установок Полтавского ГОКа. Приведенная в указанной работе удельная производительность установки обжига РПО, равная 1,76 т/м² в гор. час, на самом деле соответствует удельной производительности лишь одного агрегата комбинированной установки – колосниковой решетки, на которой происходит сушка и нагрев окатышей.

Выводы и направление дальнейших исследований. Показателями интенсивности процесса производства окатышей являются удельные производительности основных технологических агрегатов, обеспечивающих окомкование шихты и упрочняющий обжиг сырых окатышей. Среднее значение удельной производительности тарельчатых окомкователей в 4,2 раза выше соответствующего значения барабанных окомкователей, а обжиговых конвейерных машин в 1,3 раза выше, чем у комбинированных установок РПО. При этом лучшие значения удельной поверхностной производительности тарельчатых окомкователей более чем в два раза выше наибольших величин удельной производительности обжиговых конвейерных машин.

Дальнейшее направление исследований может быть связано с разработкой методик определения мощности привода различных типов окомкователей, непосредственно передаваемой

шихте, а также числовых значений коэффициента пропорциональности в формуле (1) удельной производительности окомкователей.

Список литературы

1. Савельев С.Г. Современное состояние и перспективы развития производства железорудных окатышей / С.Г. Савельев, Г.В. Губин, Я.А. Стойкова // Сталь – 2013. – № 8. – С. 2-7.
2. Иванова Т. Экспорт железорудного сырья из Украины обречен на падение / Т. Иванова // Деловое издание Hubs, 07.11.2016. Электронный ресурс : <http://hubs.ua/economy/eksport-zhelezorudnogo-sy-r-ya-iz-ukrainy-obrechen-na-padenie-94773.html>
3. Рубан С.А. Использование нечетких регуляторов для автоматизации технологического процесса обжига окатышей на конвейерных обжиговых машинах / С.А. Рубан, В.И. Лобов // Разраб. рудн. месторожд. — Вып. 91. — Кривой Рог: КТУ, 2007. — С. 188-193.
4. Кузьменко А.С. Использование нейронной сети для управления чашевым окомкователем / А.С. Кузьменко, М.Л. Барановская // Вісник Криворізького національного університету. Зб. наук. праць – Вип. 40. – Кривий Ріг: КТУ, 2015. – С. 93-97.
5. Применение методологии ВНИИМТ для оптимизации теплотехнических схем обжиговых конвейерных машин / А.А. Буткарев, А.П. Буткарев, П.А. Жомирук и др. // ООО «ВНИИМТ», 2013. Электронный ресурс : http://www.vniimt.ru/pdf/pub/80_VNIIMT_Application_VNIIMT_methodology_for_optimizing_the_thermal_circuit_roasting_conveyor_machines.pdf
6. Савельев С.Г. Оценка интенсивности процесса окомкования / С.Г. Савельев // Университетская наука – 2013: тез. докладов Междунар. научно-технич. конф. – Мариуполь: ГВУЗ «ПГТУ», 2013. – Том I. – С. 84, 85.
7. Бережной Н.Н. Производство железорудных окатышей / Н.Н. Бережной, В.В. Булычев, А.И. Костин – М.: Недра, 1977. – 240 с.
8. Сырье для черной металлургии : справочное издание в 2 т. Т. 1. Сырьевая база и производство окискованного сырья (сырье, технологии, оборудование) / [Ладыгичев М.Г., Чижикова В.М., Лобанов В.И. и др.] ; под ред. В.М. Чижиковой. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 896 с.
9. Вегман Е.Ф. Окискование руд и концентратов / Е.Ф. Вегман. – М.: Металлургия, 1984. – 256 с.
10. Коротич В.И. Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке / Коротич В.И. – М.: Металлургия, 1978. – 208 с.
11. Теоретические основы производства окискованного сырья / Д.А. Ковалев, Н.Д. Ванюкова, В.П. Иващенко [и др.] – Днепропетровск: ИМА-пресс, 2011. – 476 с.
12. Окомкователи для производства железорудных окатышей / Н.Н. Бережной, Н.М. Флак, В.И. Бессараб [и др.] // Экспресс-информация. Ин-т «Черметинформация». – 1980. – Сер. 3. – Вып. 2. – 15 с.
13. Производство агломерата и окатышей: справ. изд. / [Базилевич С.В., Астахов А.Г., Майзель Г.М. и др.] : под общ. ред. Ю.С. Юсфина. – М.: Металлургия, 1984. – 216 с.
14. Kobelco Pelletizing Process / Yamaguchi S., Fujii T., Yamamoto N., Nomura T. // Kobelco Technology Review. – Dec. 2010. – № 20. – P. 68–79.
15. Обобщение работы фабрик окискования Минчермета СССР за 1989 г. / Н.М. Панин, В.С. Галинский, Ю.П. Довгач [и др.] – Днепропетровск: Укрگیпромез, 1990. – 69 с.

Рукопись поступила в редакцию 08.02.2018

УДК 627.132:504.06

Є.З. МАЛАНЧУК, д-р техн. наук, проф., П.П. ВОЛК, канд. техн. наук, доц.,
О.Ю. ВАСИЛЬЧУК, В.В. ЗАСЦЬ, кандидати техн. наук, старші викладачі, В.В. СЕМЕНЮК,
асистент

Національний університет водного господарства та природокористування

ОЦІНКА РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В МЕЖАХ ЗБЕРІГАННЯ ГІРНИЧИХ ВІДХОДІВ ФОСФОГІПСУ

Мета. Метою є оцінка рівня екологічної безпеки за рахунок дослідження забруднення токсичними відходами, що зберігаються у відвалах ПАТ «Рівнеазот», що призводить до забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод, негативно впливає на здоров'я населення. Враховуючи масштаби і значимість проблеми промислових відходів в Україні, існує необхідність в обґрунтуванні параметрів локалізації забруднення підземних вод і розробці інженерних методів спрямованих на покращення екологічної ситуації, та зменшення захворюваності населення в межах впливу відвалів гірничого виробництва.

Методи дослідження. Для виконання досліджень використано комплексний метод досліджень, що включає наукове узагальнення та систематизацію. Експериментальний метод використовувався для виявлення забруднення шкідливими та токсичними речовинами в ґрунтовому масиві на ґрунтових водах. Методи регресійного та кореляційного аналізу – для встановлення залежностей між забрудненням і відстанню до джерела забруднення та глибиною накопичення шкідливих речовин.

Наукова новизна. Основним чинником, який спричиняє забруднення, є фільтрація ґрунтових вод з території

техногенних родовищ, про що свідчить забрудненість ґрунту вище рівня ґрунтових вод. Вміст забруднення в ґрунті залежить від рівноваги концентрації, залишкової сорбції та лінійної концентрації забруднення.

Практична значимість. Розроблена сучасна методика для встановлення вмісту шкідливих речовин в ґрунті та ґрунтових водах від зберігання відходів фосфогіпсу ПАТ «Рівнеазот».

Результати. Результатом роботи є залежності вмісту сухого залишку солей шкідливих речовин від довжини створу та від відстані створу до об'єкта за глибиною відбору зразка, та залежності вмісту фосфору, заліза, нітратів, марганцю, мікроелементів від довжини створу на глибинах до 6 м. Використання при обґрунтуванні параметрів технічних заходів екологізації підземних вод, дає підстави для подальшої розробки методик для розрахунку різних параметрів, так і для побудови нових підходів до вирішення проблем забруднення ґрунтових і поверхневих вод точковими об'єктами, які б враховували дифузійний переніс забруднення, сорбційну здатність порід.

Ключові слова: екологічна безпека, гірничі відходи, фосфогіпс, шкідливі речовини, токсичні речовини, ґрунт, ґрунтові води, проба ґрунту, свердловина.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-109-114

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. При розробці родовищ корисних копалин, їх видобутку і переробці, як правило, утворюються відходи, які забруднюють навколишнє середовище, зокрема, ґрунти і ґрунтові води. За матеріалами Рівненської геологорозв'ідувальної експедиції в Рівненській області налічується майже 1200 стаціонарних джерел потенційного забруднення ґрунтів та ґрунтових вод. Зокрема, значну небезпеку здоров'ю населення Рівненщини представляють відвали фосфогіпсу ПАТ «Рівнеазот». Це відходи четвертого класу токсичності. Із загальної кількості відходів, які є в області (16,8 млн т), 15,3 млн т зберігається у відвалах фосфогіпсів. Вирішення проблеми промислових відходів в області значною мірою залежить від того, як успішно ця проблема буде вирішена саме на цьому об'єкті.

Враховуючи масштаби і значимість проблеми промислових відходів в Україні, існує необхідність в обґрунтуванні параметрів локалізації забруднення підземних вод і розробці інженерних методів, спрямованих на покращення екологічної ситуації та зменшення захворюваності населення в межах впливу відвалів гірничого виробництва.

Аналіз досліджень і публікацій. Антропогенні зміни, що відбуваються у світі торкнулися практично всієї екосистеми планети. Це відбувається в результаті щоденного збільшення звалищ твердих побутових відходів, полігонів відходів від виробництва органічних добрив [1, 2]. Саме тому вивчення можливих джерел та шляхів попадання забруднень в ґрунт, ґрунтові води, а також збереження якості води в підземних потоках, є предметом досліджень багатьох вітчизняних та закордонних вчених [3-8]. Найбільшу загрозу якості ґрунтових вод представляють ті органічні сполуки, які є відносно розчинними, не випаровуються і не розкладаються хімічно або біологічно. У воді органічні речовини під дією бактерій елімінують. Їх розклад приводить до зменшення концентрації у воді розчиненого кисню, і тим самим наражає на екологічну небезпеку рівноваги водойми [9]. Особливу загрозу для мешканців м. Рівне і навколишніх сіл, а також басейну річки Горинь представляють відвали фосфогіпсу, які знаходяться на території ПАТ «Рівнеазот», що на захід на відстані 20 км від м. Рівне [10].

Надходження забруднюючих речовин у підземні води залежить від їх природної захищеності, яка у свою чергу, залежить від багатьох факторів, які можна об'єднати у дві групи – природні та техногенні. Серед природних факторів, які впливають на проникнення забруднюючих речовин у підземні води і захищеність останніх, важливу роль відіграють геолого-гідрологічні умови, одним з яких є будова та властивості порід зони аерації (потужність, літологія, наявність у розрізі слабкопроникних відкладів, фільтраційні та сорбційні властивості, режим вологості) [11].

Постановка задачі. Відвали фосфогіпсу ПАТ «Рівнеазот» є найбільш проблемним з точки зору екологічної ситуації. Вирішення проблеми утилізації промислових відходів в області залежить від того як успішно ця проблема буде вирішена саме на цьому підприємстві.

Відвали фосфогіпсу є типовим і для інших об'єктів, що представляють загрозу здоров'ю людей та забрудненню ґрунтів і ґрунтових вод, придатні для проведення натурних досліджень, та вирішення наукових задач, пов'язаних із зменшенням захворюваності людей та запобіганням забрудненню ґрунтів і ґрунтових вод, і представляють окрему наукову проблему. Проте, для вирішення цих задач потребує визначення вмісту шкідливих речовин у ґрунті та ґрунтових водах.

Викладення матеріалу та результати. Значний внесок у збільшення екологічного індексу

вносить азот нітритний, який є для ПАТ «Рівнеазот» специфічними показниками роботи станції денітрифікації. Державним управлінням екологічної безпеки в Рівненській області проконтрольовано стан ґрунтів на землях ПАТ «Рівнеазот» навколо відвалів фосфогіпсу. Екстремально високого забруднення ґрунтів (> 50 ГДК (гранично допустимої концентрації)) не виявлено.

Дані спостереження Державного управління екологічної безпеки в Рівненській області по аналізу проб води в р. Горинь в створах біля відвалів фосфогіпсу свідчать про те, що вміст фосфору в створі, що на 0,8 км вище с. Рубче в середньому в 5,5 рази менший в ніж в створі, що на 0,8 км нижче с. Рубче. Проби дренажних вод з території відвалів фосфату гіпсу відібрані перед відвалами і після говорять про те, що вміст фосфору збільшується в 10 разів. Аналізуючи зразки ґрунту, відібрані біля відвалів фосфогіпсу можна говорити про тенденцію накопичення рухомого фосфору в ґрунті. Так в пробах відібраних на відстані 500 м на захід в 2000 році вміст рухомого фосфору в ґрунті становить 332 мг/кг, а в 2016 р. - 670 мг/кг.

У Рівненській області відмічені випадки високого забруднення – 32 ГДК по міді. В пробах відібраних на відстані 500 м навколо відвалів фосфогіпсу вміст рухомого фосфору значно перевищує допустимі норми в 15...30 разів, вміст свинцю в межах 5...10 ГДК, хрому в межах 1...5 ГДК.

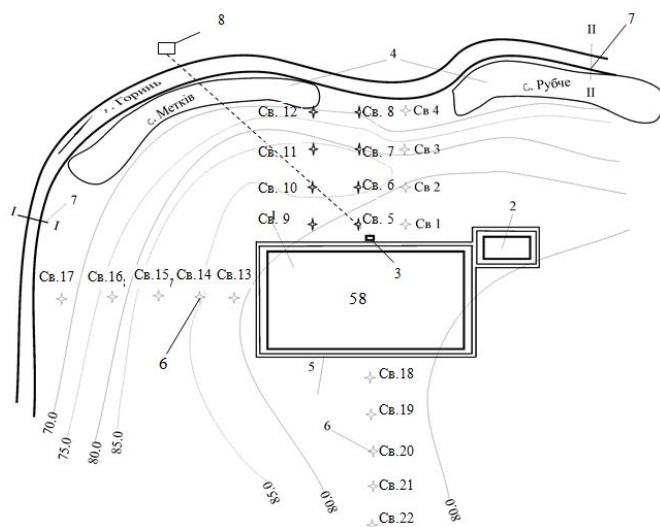


Рис. 1. Дослідна ділянка – відвали фосфогіпсу ПАТ «Рівнеазот»: 1 – відвали фосфогіпсу; 2 – накопичувач твердих токсичних речовин; 3 – насосна станція; 4 – населені пункти; 5 – система каналів для перехоплення поверхневого стоку; 6 – свердловини для відбору проб ґрунту; 7 – місця забору проб води з р. Горинь, 8 – очисні споруди; Св.1...Св.22 - свердловини для відбору проб ґрунту; I, II – створи для відбору проб води в р. Горинь

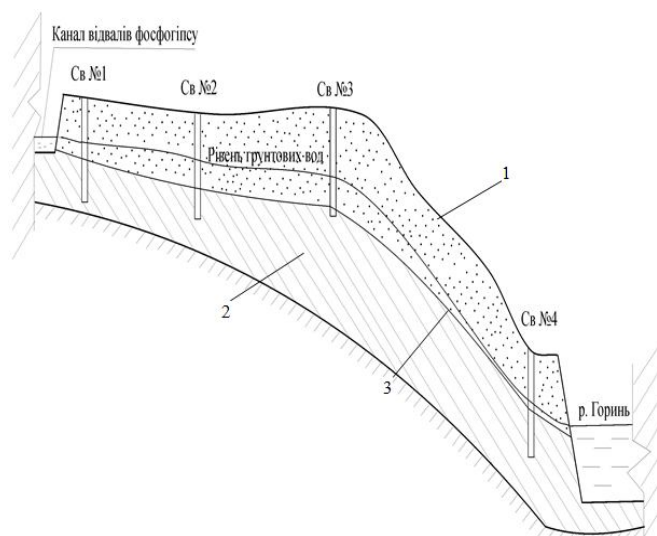


Рис. 2. Схема повздовжнього розрізу по створу №1: 1- супісок; 2 – суглинок; 3 – водотривки

В матеріалах Державної управління екологічної безпеки в Рівненській області вказується на необхідність термінового вирішення даної проблеми і недопустимість забруднення вод р. Горинь та ґрунтових вод, а також вказується на негативний вплив відвалів фосфогіпсу на навколишнє середовище.

Дослідна ділянка – відвали фосфогіпсу ПАТ «Рівнеазот» приведена на рис.1, а на рис.2 показаний повздовжній розріз створу №1.

Для перехоплення поверхневого стоку та попередження забруднення ґрунтів і ґрунтових вод по периметру об'єкта запроєктовані ловчі канали, а для відкачки води з території об'єкта запроєктована насосна станція. Вода відводиться на очисні споруди ПАТ «Рівнеазот». На даний час насосна станція знаходиться в неробочому стані.

Вода в каналах високомінералізована, про що свідчать результати досліджень та сухі дерева в руслі, напір води в каналах становить 0,5 м. Крім відвалів фосфогіпсу на дослідній ділянці розміщується сховище твердих токсичних відходів площею 1 га. До об'єкта з сторони с. Метків існує бетонована дорога, яка сполучає ПАТ «Рівнеазот» і техногенні відвали фосфогіпсу. На відстані 300 м по периметру об'єкту сільськогосподарські угіддя.

Водно-фізичні і агрохімічні властивості ґрунтів вивчались по загальноприйнятій методиці [3]. Для визначення щільності відбір зразків ґрунту виконувався в шурфах при допомозі циліндра об'ємом

250 мм² в 3-ох кратній повторності. Коефіцієнт фільтрації визначався приладом ПВН-ОО.

Для взяття проб ґрунту дослідна ділянка розбивалась на п'ять створів, які проектувались по найнижчим точкам місцевості. Перші три створи на захід від сховища в сторону с. Рубче довжиною 1км; четвертий на південь від об'єкту довжиною 1,5 км; п'ятий на схід від об'єкту в сторону лісу, довжиною 0,9 км. Загальна кількість свердловин 22 шт.

Свердловини для взяття проб бурились ручним буром, діаметром 50 мм на глибину до 6 м. Проби ґрунту брались через кожний метр, починаючи від поверхні з трьохразовим повтором кожної проби. Відстані між свердловинами в перших трьох створах відповідно 50, 250, 300, 400 м. Вздовж всіх трьох створів спостерігається пониження території в сторону річки Горинь. Відстані між свердловинами в четвертому створі відповідно 50, 250, 300, 400, 500 м. П'ятнадцята і шістнадцята свердловини розміщені на пагорбі, далі пішов спуск в сторону річки.

Згідно даних були побудовані графіки залежності вмісту сухого залишку солей від відстані створу до відвалів фосфогіпсу за кожною глибиною взяття проби (рис. 3) та вміст сухого залишку солей у ґрунті за кожною глибиною в свердловині (рис. 4).

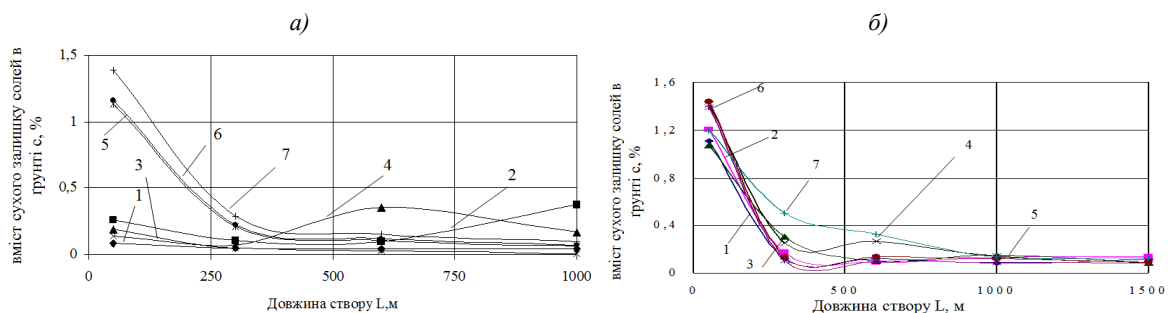


Рис.3. Залежність вмісту сухого залишку солей в ґрунті від довжини створу за глибиною відбору зразка (а) та від відстані створу до об'єкта за глибиною відбору зразка (б): 1- на поверхні ґрунту; 2 – на глибині 1 м; 3 – на глибині 2 м; 4 – на глибині 3 м; 5 – на глибині 4 м; 6 – на глибині 5 м; 7 – на глибині 6 м

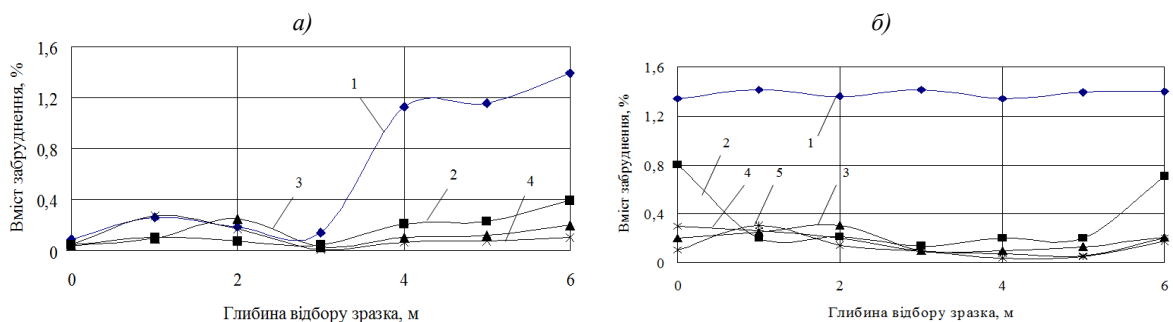


Рис.4. Залежність вмісту сухого залишку солей в ґрунті від глибини відбору зразка, створ №1(а): 1 – свердловина №1; 2 – свердловина №2; 3 – свердловина №3; 4 – свердловина №4; створ №5 (б): 1 – свердловина №18; 2 – свердловина №19; 3 – свердловина №20; 4 – свердловина №21; 5 – свердловина №22

З яких даних залежностей можна зробити висновок, що відвали фосфогіпсу спричиняють забруднення ґрунтів і ґрунтових вод яке розповсюджується в сторону річки. Про це свідчить вміст солей в ґрунті - менше значення масової частки сухого залишку солей біля поверхні ґрунту і більше значення на рівні залягання ґрунтових вод. Тобто забруднення виникає за рахунок фільтрації вод з території відвалів. В результаті хімічного аналізу відібраних на території дослідної ділянки проб води та ґрунту, визначено вміст мікроелементів у дослідних зразках. Встановлено вміст нітратів NO₃, фтору F, рухомого фосфору P₂O₅, рухомої сірки S, цинку, заліза, кобальту, нікелю, свинцю, марганцю, міді і хрому в зразках ґрунту в мг/кг. Побудовані графічні залежності вмісту мікроелементів в ґрунті від довжини створу за кожною глибиною відбору зразка (рис. 5-7).

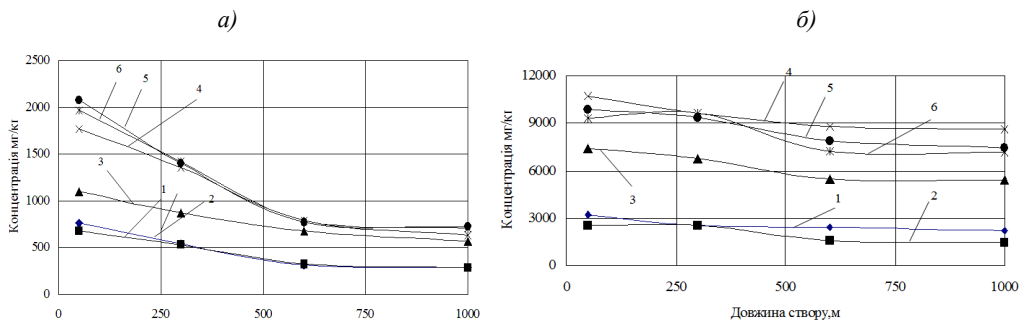


Рис.5. Залежність вмісту фосфору (а) та заліза (б) від довжини створу (створ №1):
 1 – $h=1$ м; 2 – $h=2$ м; 3 – $h=3$ м; 4 – $h=4$ м; 5 – $h=5$ м; 6 – $h=6$ м

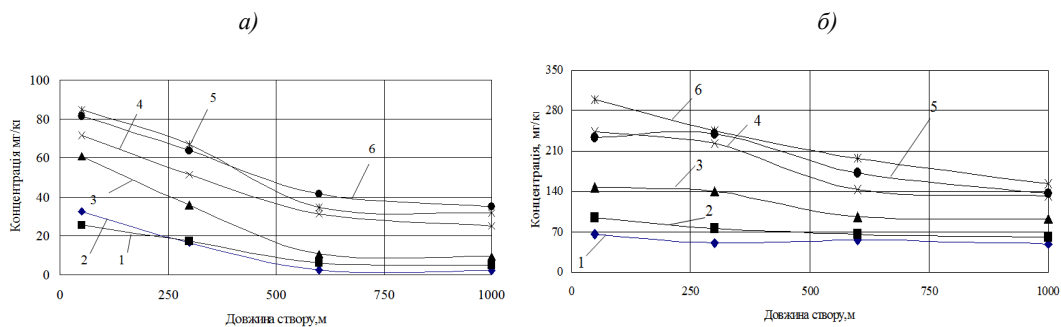


Рис.6. Залежність вмісту нітратів (а) та марганцю (б) від довжини створу (створ №1):
 1 – $h=1$ м; 2 – $h=2$ м; 3 – $h=3$ м; 4 – $h=4$ м; 5 – $h=5$ м; 6 – $h=6$ м

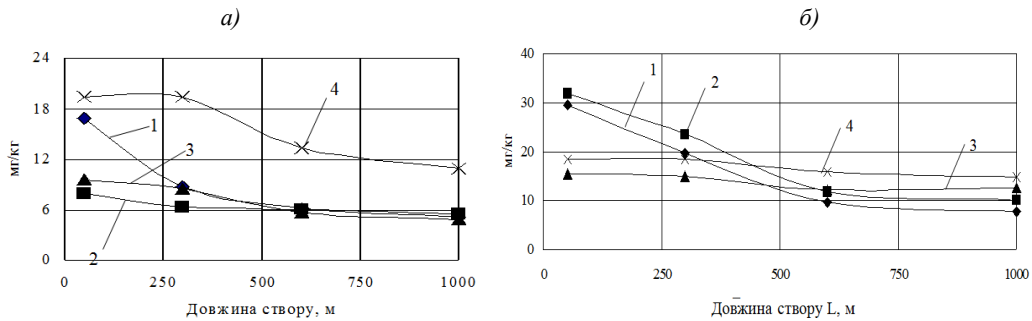


Рис.7. Залежність вмісту мікроелементів від довжини створу на глибині 3 м (а) та 6 м (б) від поверхні ґрунту, мг/кг:
 1 – фтор; 2 – сірка рухома; 3 – цинк; 4 – нікель

При порівнянні даних одержаних експериментальним шляхом, і даних Державного управління екології та природних ресурсів в Рівненській області. Вміст свинцю, цинку, міді, кадмію, нікелю, кобальту, нітритів, марганцю, фосфору перевищує гранично допустимі норми. Так в пробах відібраних на відстані 500 м на захід в 2000 році вміст рухомого фосфору в ґрунті становив 332 мг/кг, а в 2016 р. - 670 мг/кг) можна зробити висновок про необхідність реконструкції системи захисту ґрунтів і ґрунтових вод від забруднення шкідливими речовинами на території відвалів фосфогіпсу поблизу виробничого майданчика ПАТ «Рівнеазот», чи впровадження нових більш ефективніших методів, які забезпечать якісне перехоплення забруднюючих речовин на виході об'єкту і не допустять спричинення екологічно-неприятливого стану навколишнього середовища.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Екологічна ситуація пов'язана з об'єктами гірничо-видобувного комплексу характеризується вкрай негативно, вона ще більш погіршується в зв'язку з накопиченням токсичних відходів в результаті розробки родовищ корисних копалин, їх видобутку і переробки.

Токсичні відходи зберігаються у відвалах, що призводить до забруднення ґрунтів, поверх-

невих і підземних вод, негативно впливає на здоров'я населення. Враховуючи масштаби і значимість проблеми промислових відходів в Україні, існує необхідність в обґрунтуванні параметрів локалізації забруднення підземних вод і розробці інженерних методів спрямованих на покращення екологічної ситуації, та зменшення захворюваності населення в межах впливу відвалів гірничого виробництва.

Основним чинником, який спричиняє забруднення ґрунту на території відвалів фосфогіпсу, є фільтрація забруднених вод. Про це свідчить забрудненість ґрунтів, яка нижче рівня залягання ґрунтових вод в 5...10 разів більша. І з часом це значення зростає. Так вміст фосфору в ґрунті на відстані 200 м від відвалів протягом контрольного періоду збільшився в 2 рази, свинцю – в 1,15, хрому – в 1,35.

Список літератури

1. **Мяновська М. Б.** Розробка алгоритму проведення моніторингу впливу звалищ твердих побутових відходів на довкілля / М. Б. Мяновська, М. С. Мальований // III Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю: зб. наук. статей. – 21-24 вересня 2011 р, Вінниця. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – Т. 1. – С. 119–122.
2. **Онищенко С. В.** Еколого - економічна оцінка забруднення навколишнього середовища в системі екологічно безпечного розвитку регіонів України / С. В. Онищенко, М. С. Самойлік. – Полтава: ПНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2012. – 269 с.
3. **Рыкходко М. М.** Ekologichna bezpeka pryrodnykh i antropohenno modyfikovanykh heosystem : monohrafiia / М. М. Рыкходко. – К.: Tsentr ekologichnoi osvity ta informatsii, 2013. – 201 s.
3. **Трунова І.О.** Залежність вмісту важких металів у твердому відході виробництва фосфорних добрив від просочування середі перебування / І.О. Трунова, Л.Д. Пляцук // Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету СумДУ. – Суми: Вид-во СумДУ, 2006. – С. 64-65.
4. **Пляцук Л.Д.** Системный подход к экологическому мониторингу в районе размещения отвала фосфогипсовых отходов / Л. Д. Пляцук, Е. Ю. Черныш, Е. Н. Яхненко [та ін.] // Экологический вестник. – Минск, 2015. – № 4 (34). – С. 77–85.
5. **Лычева М. А.** Особенности инженерно- геологических условий формирования отвалов фосфогипса / М. А. Лычева // Научный вестник Московского Государственного Горного Университета. – 2011. – №3 (12). – С.53–58.
6. **Клименко М.О.,** Рокочинський А.М., Колодич П.Д., Жомирук Р.В., Громаченко С.Ю. Сучасний стан та шляхи вирішення проблеми утилізації сміттєзвалищ у Рівненській області - Зб. наук. пр. Вісник НУВГП.- Рівне: НУВГП. - 2008. - Вип.№3. (43) - С.84-91.
7. **Жомирук Р.В.** Дослідження процесу забруднення ґрунтів і ґрунтових вод відходами гірничого виробництва. Зб. наук. пр. "Геотехнічна механіка". - Дніпропетровськ: ІГТМ НАН України. - 2012.- Вип. №95. - С.133-140.
8. **Malanchuk Z.** Examining features of the process of heavy metals distribution in technogenic placers at hydraulic mining / Malanchuk Z., Malanchuk Ye., Korniyenko V., Ignatyuk I. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774, 2017, pp. 45-51 DOI:10.15587/1729-4061.2017.92638.
9. **Khomenko, O.Ye.** Principles of rock pressure energy usage during underground mining of deposits / Khomenko, O.Ye., Sudakov, A.K., Malanchuk, Z.R., Malanchuk, Ye.Z. / Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, National Mining University of Ukraine, ISBN: 2071-2227, 2017, pp 34–43.
10. **Naduty, V.** Research results proving the dependence of the copper concentrate amount recovered from basalt raw material on the electric separator field intensity / Naduty, V., Malanchuk, Z., Malanchuk, Y., Korniyenko, V. / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774, 2016, pp. 19-24 DOI: 10.15587/1729-4061.2016.79524.
11. **Pospehov G.B.** The analysis of aggradational phosphogypsum engineering-geological properties/ G.B. Pospehov, Y.S. Koudashov // Scientific reports on resource issues. – 2013. – v. 1, part II. – p. 35-39.

Рукопис подано до редакції 19.04.2018

УДК 681.5:622.73

Д.В. ШВЕЦЬ, асистент, Криворізький національний університет

АВТОМАТИЗОВАНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПОДРІБНЕННЯ МАГНЕТИТОВИХ РУД НА ОСНОВІ ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ МІЦНОСТІ

Мета. Розширення функціональних можливостей розробленої ТОВ "Рудпромгеофізика" (м. Кривий Ріг) інформаційно-виміральної системи ДЗМ-К, призначеної для контролю вмісту масової частки магнетиту в масі подрібненої руди на рухомій конвеєрній стрічці при її використанні для контролю вмісту магнітного заліза у вихідній руді рудозбагачувальних фабрик гірничо-збагачувальних комбінатів. Створення алгоритму керування процесом подрібнення залізної руди з попереднім автоматичним визначенням міцності вихідної руди.

Метод. Розширення функціональних можливостей інформаційно-виміральної системи ДЗМ-К пропонується здійснити шляхом доповнення системи датчиком вмісту загального заліза, що дозволить визначати вміст як магніт-

ного заліза, так і заліза загального в руді на рухомій конвеєрній стрічці, обчислювати співвідношення вмісту заліза магнітного до вмісту заліза загального в руді, що живить першу стадію подрібнення і класифікації, на підставі обчисленого співвідношення визначати міцність вихідної руди і коригувати подачу вихідної руди в млин з метою досягнення оптимальних показників подрібнюваності.

Наукова новизна. Запропоновано метод визначення подрібнюваності вихідної руди в живленні першої стадії подрібнення і класифікації на основі визначення співвідношення вмісту магнітного і загального заліза в ній. Розроблено функціональну схему та алгоритм керування процесом подрібнення залізної руди з попереднім автоматичним визначенням міцності вихідної руди.

Практична значимість. Проведені дослідження дозволять розширити функціональні можливості інформаційно-виміральної системи ДЗМ-К, застосування якої дасть можливість стабілізувати гранулометричний склад руди, що подається на першу стадію магнітної сепарації, за рахунок визначення міцності вихідної руди в живленні першої стадії подрібнення і класифікації. Застосування даної системи на рудозбагачувальних фабриках гірничозбагачувальних комбінатів дозволить підвищити ефективність процесу подрібнення руди на першій стадії подрібнення і класифікації, зменшити втрати заліза в хвості збагачення на першій стадії магнітної сепарації і підвищити якість кінцевого продукту - концентрату.

Результати. Отримані результати створюють перспективи для подальших досліджень, спрямованих на реалізацію модернізованої інформаційно-виміральної системи ДЗМ-К.

Ключові слова: рудозбагачувальна фабрика, міцність, подрібнення, класифікація, магнітне залізо (магнетит), оперативний контроль.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-114-119

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Контроль якості мінеральної сировини є одним з найбільш важливих питань в гірничозбагачувальній промисловості. Однак, через коливання міцності залізної руди, що надходить на переробку на рудозбагачувальні фабрики, відбувається її недостатнє подрібнення, що веде до неповного розкриття зростків, або навпаки, надлишкове подрібнення, що призводить до погіршення магнітних властивостей подрібнюваного матеріалу. В обох випадках це призводить до втрат корисного компонента на стадії магнітної сепарації.

Аналіз досліджень і публікацій. У проблемно-галузевій науково-дослідній лабораторії Міністерства промислової політики України при Національному університеті під керівництвом професора А. А. Азаряна досліджуються проблеми оперативного контролю якості залізорудної сировини [1-7]. Зокрема, розроблена система автоматичного контролю і керування масовою часткою магнітного заліза в конвеєрному рудопотоці [8]. Дана система успішно застосовується на РЗФ Кривбасу і дозволяє контролювати вміст магнітного заліза у вихідній руді першої стадії подрібнення і класифікації.

Відомий також спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення, що включає регулювання подачі руди в млин з корекцією за величиною циркулюючого навантаження і регулювання подачі води в млин. [9]

Однак цей спосіб не забезпечує своєчасного керування подрібненням через те, що якість продуктів на зливні класифікатора контролюється вже після того, як порція руди пройшла процес подрібнення, і в млин може надійти інший технологічний різновид магнетитових руд, що вимагає подачі в іншому співвідношенні компонентів «руда-вода».

Також відомий спосіб автоматичного керування, що включає регулювання подачі води і руди в млин в залежності від вмісту магнітного заліза у вихідній руді [10]. Недоліком даного способу є відсутність можливості керування процесом помелу залежно від ступеня подрібнюваності руди, що подається на вхід млина.

Постановка завдання. Метою роботи є створення алгоритму керування процесом подрібнення залізної руди з попереднім автоматичним визначенням міцності вихідної руди для зменшення втрат корисного компонента в кінцевому продукті рудозбагачувальної фабрики - концентраті.

Викладення матеріалу і результати. На рудозбагачувальних фабриках Кривбасу більше ніж 10 років успішно експлуатується інформаційно-вимірвальна система ДЗМ-К [11], призначена для контролю вмісту масової частки магнетиту в масі подрібненої руди на рухомій конвеєрній стрічці, в основі якої лежить використання датчика магнітного заліза. Дану систему пропонується доповнити датчиком заліза загального та блоком, що здійснює обчислення співвідношення вмісту в руді заліза магнітного до заліза загального, що дозволить визначати міцність гірської маси. В підсумку, даний фактор дозволить ефективно керувати процесом подрібнення.

Технічний результат від використання запропонованого рішення полягає в тому, що попереднє автоматичне визначення міцності вихідної руди дозволяє відповідно коригувати обсяг її подачі в млин, що зменшує вихід продукту недостатньої або надлишкової крупності і втрати корисного компонента.

Поставлена мета досягається за рахунок того, що спосіб автоматичного керування процесом подрібнення руди включає визначення режиму подачі компонентів «руда-вода» в млин в залежності від співвідношення вмісту заліза магнітного і заліза загального в вихідній руді, що обчислюється модернізованою інформаційно-вимірною системою ДЗМ-К. Здійснюється вимір вмісту заліза загального, обчислюється співвідношення вмісту заліза магнітного до вмісту заліза загального, в залежності від результатів обчислення визначаються технологічні сорти вихідної руди легкої, середньої та важкої подрібнюваності, і, відповідно підвищують, залишають середнім або зменшують обсяг подачі компонентів «руда-вода» до млина.

Загальний алгоритм роботи системи має наступний вигляд (рис. 1).

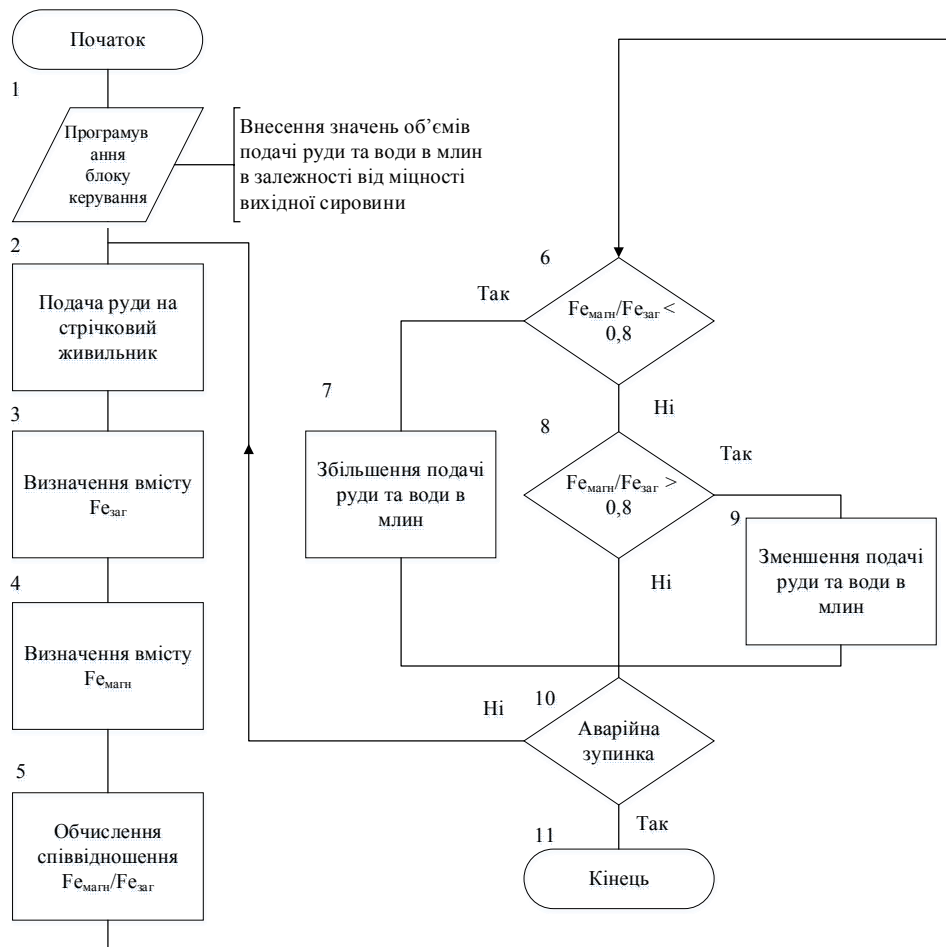


Рис 1. Спосіб автоматичного керування процесом подрібнення магнетитових руд

Алгоритм функціонує наступним чином: перед початком роботи програмується блок керування автоматизованої системи - задаються значення обсягів подачі руди і води в млин в залежності від міцності вихідної сировини. Після запуску системи подається руда на стрічковий живильник руди в млин. В руді на стрічковому живильнику за допомогою модернізованої інформаційно-вимірною системою ДЗМ-К проводиться вимір вмісту загального і магнітного заліза. Далі відбувається обчислення співвідношення вмісту магнітного заліза до заліза загального в руді, і в залежності від отриманого значення формується керуючий вплив на електродвигун живильника: при $Fe_{\text{магн}} / Fe_{\text{заг}} > 0,8$ швидкість двигуна зменшується, що призводить до зменшення подачі руди в млин. В свою чергу, при $Fe_{\text{магн}} / Fe_{\text{заг}} < 0,8$ подається керуючий вплив, що збільшує швидкість електродвигуна стрічкового живильника, що збільшує подачу руди в подрібнюючу установку. Також відповідно до зміни подачі руди, змінюється і подача води до мли-

на для підтримки заданих режимів щільності. У робочому режимі через задані проміжки часу цикл повторюється знову, при виникненні аварійної ситуації - процес зупиняється.

Даний алгоритм реалізується за допомогою функціональної схеми (рис. 2).

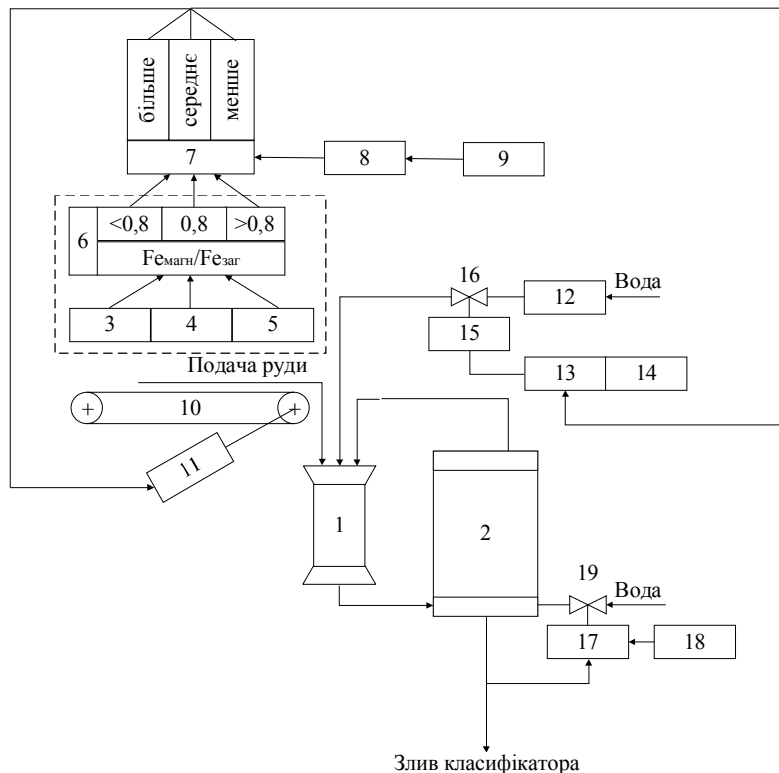


Рис. 2. Спосіб автоматичного керування процесом подрібнення магнетитових руд

Функціональна схема складається:

з системи керування витратами вихідної руди в кульовий млин 1, що працює в замкнутому циклі зі спіральним класифікатором 2, яка, в свою чергу, містить в своєму складі модернізовану систему ДЗМК-К (на схемі виділена пунктиром). Система ДЗМК-К містить датчик 3 вмісту магнітного заліза, датчик 4 маси руди, що подається у млин 1, датчик 5 вмісту загального заліза у вихідній руді, обчислювач 6 відношення вмісту магнітного заліза до вмісту загального заліза, до входів якого приєднані датчики 3, 4, 5, що встановлені на конвеєрі. Вихід обчислювача 6 підключений до блоку керування 7 з послідовно з'єднаними регулятором 8 та задатчиком 9 подачі руди конвеєром 10 за допомогою двигуна 11;

з системи стабілізації співвідношення «руда-вода» в кульовому млині 1, що містить датчик 12 витрати води у млин, регулятор 13 з задатчиком 14, виконавчий механізм 15 гідрозасувки 16;

з системи 17 стабілізації щільності зливу класифікатора, що має свої задатчик 18 та гідрозасувку 19.

Керування процесом подрібнювання магнетитових руд у залежності від їх подрібнюваності здійснюється впливом на витрати руди й води в кульовий млин і витрати води в класифікатор у такий спосіб: вихідну руду подають в кульовий млин 1 за допомогою стрічкового конвеєра 10. Перед початком роботи за допомогою задатчика 9 через регулятор 8 програмують блок керування 7 відповідно до технологічної інструкції, а також регулятор 13 витрати води за допомогою задатчика 14, виконавчого механізму 15 та гідрозасувки 16. Вміст магнітного заліза у вихідній руді контролюють індуктивним датчиком 3; масу руди, яка подається у кульовий млин 1, контролюють за допомогою датчика 4; вміст загального заліза контролюють за допомогою радіаційного гамма-гамма датчика 5. Сигнали датчиків 3, 4, 5 подають на вхід обчислювача 6, за допомогою якого визначають співвідношення вмісту заліза магнітного до вмісту заліза загального, формують пропорційний цьому відношенню сигнал та передають його на вхід блоку керування 7 швидкістю двигуна 11 конвеєра 10 подачі руди, та на вхід регулятора 13 подачі води у кульовий млин 1.

Щільність зливу класифікатора контролює система 17 і регулює подачу води відповідно

сигналу задатчика 18 через гідрозасувку 19.

З літератури [12] відомо, що міцність (подрібнюваність) магнетитових руд залежить від співвідношення вмісту заліза магнітного до вмісту заліза загального:

легкоподрібнювані руди $Fe_{\text{маг}} / Fe_{\text{заг}} < 0,8$;

середньоподрібнювані руди $Fe_{\text{маг}} / Fe_{\text{заг}} = 0,8$;

важкоподрібнювані руди $Fe_{\text{маг}} / Fe_{\text{заг}} > 0,8$.

Відповідно до технологічного сорту руди необхідно регулювати масу руди, що подається на вхід кульового млина, та співвідношення «руда-вода» в млині через те, що важкоподрібнювані руди потребують більшого часу на обробку, що викликає необхідність зменшити подачу руди до млина і навпаки - для легкоподрібнюваних руд продуктивність подачі необхідно підвищити. Це доводить необхідність регулювання продуктивності подачі руди і води в залежності від співвідношення вмісту заліза магнітного та загального у вихідній руді. Якщо ці умови не виконуються, то важкоподрібнювана руда після подрібнення не досягне повного розкриття зростків, а крупність легкоподрібнюваної руди буде занадто дрібною та її магнітні властивості зменшаться, що в обох випадках призведе до вагомих втрат корисного компоненту. Згідно технологічних інструкцій, діапазон керування процесом подрібнювання обмежується допустимим коливанням вмісту заліза магнітного у межах плюс-мінус 1,5%.

Висновки. Керування процесом подрібнювання магнетитових руд у залежності від їх подрібнюваності забезпечить мінімальні втрати заліза в хвості магнітної сепарації та підвищить якість концентрату.

Запропоноване рішення відноситься до способів автоматичного керування процесом мокрого подрібнення руди в кульовому млині, що працює в замкнутому циклі зі спіральним класифікатором, і може бути використано на рудозбагачувальних фабриках, що переробляють магнетитові руди.

Список літератури

1. Azaryan A., Pikilnyak A., Shvets D. Complex automation system of iron ore preparation for beneficiation, Metallurgical and mining industry, No.8. – 2015. – p.p. 64-66. https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_8/011Azaryan.pdf
2. Азарян А.А. Анализ способов и методов контроля качества железорудного сырья на этапе измельчения / Азарян А.А., Швець Д.В. //Гірничий вісник: наук.-техн. зб. - Вип. 98.-Кривий Ріг.,2014.-с.135-141
3. Исследование влияния вещественного состава железистых кварцитов ГОКа Арселор Миттал на их прочность / [Азарян А.А., Цибулевский Ю.Е., Кучер В.Г., Швець Д.В.] – Кривий Ріг: Вісник КНУ, 2016. – Вип. 42 - С. 231-236
4. Контроль содержания магнитного железа в пульсовых продуктах рудообогатительной фабрики / [Азарян А.А., Кучер В.Г., Цибулевский Ю.Е., Швець Д.В.]. – INTERNATIONAL ACADEMY JOURNAL «Web of Scholar», Киев, №1(10), 2017, С.9-12.
5. Швець Д. В. Розробка системи стабілізації масової долі заліза магнітного у зливні класифікатора та дослідження можливості автоматизації процесу подрібнення залізної руди та підготовки її до збагачення / Швець Д. В. // Качество минерального сырья – 2014, С. 252-264.
6. Азарян А.А. Перспективы построения систем автоматического регулирования процесса магнитной сепарации на базе погружных анализаторов содержания магнитного железа / Азарян А.А., Кучер В.Г., Швець Д.В. // Качество минерального сырья – 2017.
7. Азарян А.А. Расширение функциональных возможностей лабораторных анализаторов пульсовых продуктов магнетитовых руд / Азарян А.А., Кучер В.Г., Швець Д.В. // Кривий Ріг: Вісник КНУ. - 2016.. - Вип. 45. - С.135-141.
8. Система автоматичного керування масовою часткою магнітного заліза у конвеєрному рудопотоці: патент №50668 / Азарян А.А., Азарян В.А., Кучер В.Г., Мордовін Д.М., Цибулевський Ю.Є.; власник патенту КТУ; заявл. 02.11.2009; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12.
9. А.с. 503592 СССР, В02С 25/00. Способ автоматического регулирования процесса измельчения руды в мельнице / Горошин О.И., Мадорский С.Л. - №2041530/29-33; заявл. 05.07.1974; опубл. 25.02.1976, Бюл. № 7.
10. Пат. №39942 Україна МПК В02С 25/00 Спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнювання магнетитових руд / Азарян А.А., Дрига В.В., Мордовін Д.М., Кучер В.Г., Цибулевський Ю. Є. – (Україна); заявник Криворізький національний університет. - №u200808908; заявл. 07.07.2008; опубл.25.03.2009р, Бюл. №6, 2009р. – 4 с.
11. Пат. 101969 Україна, МПК²⁰⁰⁶ G01R 33/12. Система автоматичного контролю продуктивності та вмісту магнітного заліза в конвеєрному рудопотоці вихідної руди рудозбагачувальної фабрики / А. А. Азарян, В. Г. Кучер, В. В. Дрига, Ю. Є. Цибулевський (Україна) ; заявник Криворізький національний університет. - № u201503375 ; заявл. 10.04.2015 ; опубл. 12.10.2015, Бюл. № 19. – 3 с.
12. Купін А. І. Узгоджене інтелектуальне керування стадіями технологічного процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах невизначеності. : Дис... д-ра наук: 05.13.07 - 2010.

Рукопис подано до редакції 13.04.2018

М.В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц.,
Криворізький національний університет

ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБ'ЄМНО-ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН У НАДРАХ

Мета. Розглянути геостатистичні методи оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах (дискретний, випадковий і універсальний крайгінг) як ефективні по точності в умовах геологічної і статистичної однорідності блоків, які оцінюємо.

Методи дослідження. Оцінку блоків малого і великого розмірів з різним числом розвідувальних даних у блоках і за межами визначали по величині відносної похибки оцінок у порівнянні їх з фактично вимірними значеннями на відпрацьованих ділянках залізистих кварцитів родовищ. Порівняння по точності результатів застосування традиційних і геостатистичних методів при оцінці об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах не суперечить теорії оптимального статистичного оцінювання і може бути використана тільки для моделі мінливості показників або окремих її параметрів.

Наукова новизна. Запропонована модифікація крайгінга – індикаторний крайгінг, який дозволяє одержати ефективну геостатистичну оцінку об'ємно-якісних показників корисних копалин, зменшити зсув оцінок об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах і в блоках, які складенні різнотипними корисними копалинами.

Практична значимість. Оцінки середнього значення об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах базуються як на дослідженні мінливості ознак, так і на аналізі геометричних характеристик блоків рудного тіла, параметрів розвідувальних мереж. Як показують розрахунки, для малих блоків рудного тіла досить залучити для оцінки три – шість найближчих проб. У цьому випадку для регулярних мереж опробування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах розрахунки коефіцієнтів будуть проведені заздалегідь для найбільш типових конфігурацій взаємного розташування блоку і проб, які беруть участь в оцінці.

Результати. Розглянуті дискретний, випадковий і універсальний крайгінг оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах більш ефективні по точності в умовах геологічної і статистичної однорідності блоків, що оцінюємо. Запропонована модифікація крайгінга – індикаторний крайгінг, який дозволяє одержати ефективну геостатистичну оцінку об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах в блоках, що складенні різнотипними корисними копалинами. Сутність методу полягає в тому, що поряд зі звичайними варіограмами вмістів якісних показників для кожного типу корисних копалин будуюмо індикаторні варіограми.

Ключові слова: надра, запаси, блоки, об'ємно-якісні показники, крайгінг оцінки, індикаторні варіограми.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-119-125

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Питаннями прогнозування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах займалися провідні вчені Марголін О. М., Єршов В. В., Ушаков І. М. та інші [1]. Запропоновано досить багато методів прогнозування, більшість з яких не є ефективними з погляду похибки оцінки вмісту якісних показників корисних копалин у надрах, оскільки не враховують характер мінливості показників об'ємно-якісних ознак. Завдання прогнозування середніх значень геологічних об'ємно-якісних ознак показників корисних копалин у надрах – одна з найважливіших при реалізації функцій маркшейдерсько-геологічного управління вмістом якісних показників корисних копалин. Застосування методів опробування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах, що засновані на теорії випадкових функцій, дає задовільні результати для блоків малого розміру, які недостатньо «освітлені» розвідувальними даними і з якими доводиться зустрічатися в умовах діючих гірничовидобувних підприємств.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання про ефективність застосування різних математичних методів прогнозування показників у надрах розглядалося в літературі [2,4]. До теперішнього часу отримані дані не дозволяють віддати перевагу традиційним або геостатистичним методам, що пов'язано, видимо, з недостатньо глибоким аналізом конкретних гірничо-геологічних умов їхнього використання.

Постановка завдання. Завдання оцінки вмісту якісних показників корисних копалин у надрах може бути успішно вирішено рівняннями крайгінга і оцінкою величини дисперсії, якщо модель розміщення об'ємно-якісних ознак в просторі не містить закономірної складової $S_T(X, Y, Z)$, а автокореляційна функція $K(h)$ або власна функція $\gamma(h) = 1/2S(h) = K(\infty)$ задані. Існують варіанти реалізації методу в зазначених умовах. Перший – пов'язаний з точним вирішенням системи рівнянь крайгінга (дискретний крайгінг), другий – з можливими спрощеннями,

виходячи з фізичного смислу рівнянь (випадковий крайгінг). Спрощення рівнянь можливо, при таких ситуаціях, коли результат оцінки очевидний до проведення розрахунків. Якщо лінійні розміри блоку, який оцінюємо мають той же порядок, що і середня відстань між точками опробування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах. Тоді заздалегідь ясно, що в оцінку блоку істотний внесок внесуть лише ті проби, які ближче всього розташовані до центра блоку, який оцінюємо, тобто вагові коефіцієнти проб, що відділенні від блоку дорівнюють нулю. Такий висновок підтверджується точним вирішенням системи рівнянь крайгінга, які враховують всі вихідні дані. Другий варіант пов'язаний з оцінкою порівняно більших блоків. У цьому випадку очікуємо, що всі проби, які перебувають у межах блоку, що оцінюємо, мають приблизно однакові ваги. Проби на периферії блоку також увійдуть в оцінку з однаковими вагами, відмінними від ваг для проб в середині блоку. Таким чином, висновок про можливість спрощення рівнянь крайгінга, а отже, і оцінки середнього значення об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах повинен базуватися як на дослідженні мінливості ознак, так і на аналізі геометричних характеристик блоків рудного тіла, що оцінюємо, параметрів розвідувальних мереж. Як показують розрахунки, для малих блоків рудного тіла досить залучити для оцінки три – шість найближчих проб. У цьому випадку для регулярних мереж опробування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах розрахунки коефіцієнтів будуть проведені заздалегідь для найбільш типових конфігурацій взаємного розташування блоку і проб, які беруть участь в оцінці.

Подібні розрахунки для моделей мінливості об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах, описаних схемами де Вейса і сферичною, наведені в [3]. Аналогічні приклади для експонентної схеми розглянуті в роботі [1]. При використанні комп'ютерних технологій для знаходження оцінок середніх значень об'ємно-якісних показників корисних копалин надр у таких блоках у випадках відхилень від стандартних умов алгоритмічно зручніше вирішувати задаючи число проб, що беруть участь в оцінці, або межі ореола, у межах якого проби залучаємо до оцінки. В обох випадках порядок системи рівнянь крайгінга не перевищує шести. Якщо лінійні розміри блоків перевершують середню відстань між пробами в декілька разів, а об'єми блоків набагато менші об'єму корисних копалин рудного поля, у якому вони перебувають, то оцінка об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах буде спрощена. При цьому число проб, що попадають в блок оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин об'єму v , дорівнює n , а число всіх проб у межах поля V дорівнює N . Тоді в якості оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах використаємо вираз

$$\tilde{C} = \lambda C_n + (1 - \lambda) \bar{C}_N, \quad (1)$$

де $\bar{C}_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n C_k$ – середня арифметична оцінка об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах по пробах у середині блоку рудного поля v ; $\bar{C}_N = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N C_m$ – середня арифметична оцінка об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах по пробах усього рудного поля корисних копалин V .

Припустивши, що проби в межах блоку v розташовані випадково і сам блок розташований випадково в рудному полі корисних копалин тіла V (гіпотеза випадкового крайгінга), то вирази для оцінки і дисперсії об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах будуть мати вид

$$\lambda = \frac{\sigma_v^2}{\sigma_n^2 + \frac{n}{N-n} \sigma_v^2};$$

$$\sigma_k^2 = (\sigma_n^2 - \sigma_v^2) \left[1 - \frac{\sigma_n^2 - \sigma_v^2}{\frac{N}{N-n} \left(\sigma_n^2 + \frac{n}{N-n} \right) \sigma_v^2} \right], \quad (2)$$

де $\sigma_n^2 = \frac{1}{n^2} \sum_{k=1}^n \sum_{m=1}^n K(|\bar{r}_k - \bar{r}_m|)$.

Якщо число проб N по всьому рудному полю корисних копалин V перевершує число проб n в середині блоку v , що оцінюємо, то отримуємо наближені формули

$$\lambda \approx \frac{\sigma_v^2}{\sigma_n^2}; \quad \sigma_k^2 = \left(1 - \frac{\sigma_v^2}{\sigma_n^2}\right) \sigma_v^2. \quad (3)$$

Параметри оцінки і дисперсії крайгінга блоку v залежать від числа проб і від характеристик автокореляційної $K(r)$ або структурної $S(r)$ функцій. Таким чином, при оцінці великих і малих блоків рудного поля корисних копалин громіздкі рівняння крайгінга, що отримані у загальній теорії, значно спрощенні і розрахунки проведені при відсутності закономірної складової в розміщенні об'ємно-якісних показників ознаки $C(X, Y, Z)$.

При наявності тренда, всі розглянуті наближення стають неправомочними. У цьому випадку необхідно виділити тренд, використовуючи, метод найменших квадратів. Коефіцієнти рівняння тренда, обумовлені при цьому методі не зміщені, однак вони не мінімізують дисперсію, якщо відхилення значень об'ємно-якісних показників ознаки від тренда автокорельованні. При визначенні тренда досліджуємо відхилення на автокореляцію. При її наявності оцінки коефіцієнтів автокореляції, що обчислюємо по різницях, будуть зміщеними.

Геостатистичні розрахунки для відхилень від тренда, що обумовлений методом найменших квадратів, можуть виявитися неефективними, тому необхідно враховувати автокореляції відхилень при підборі рівнянь тренда. Такий підхід до оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах є універсальний крайгінга. У такому обліку немає необхідності, якщо число точок опробування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах більше 100. У протилежному випадку варто видозмінити підхід до проблеми оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин, що приводить до рівнянь крайгінга.

Методика універсального крайгінга дозволяє зменшити зсув оцінок об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах. Припустивши, що значення об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах можна представити у вигляді

$$C(r) = m(r) + R(r), \quad (4)$$

де $m(r)$ – закономірна складова (тренд); $R(r)$ – відхилення, що представляють значення реалізації стаціонарної випадкової функції об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах з нульовим математичним очікуванням, тобто

$$M[C(r)] = m(r) \text{ і } M[R(r)] = 0.$$

Рівняння тренда представимо у вигляді лінійної комбінації відомих функцій об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах $\varphi_k(x)$

$$m(r) = b_1\varphi_1(r) + b_2\varphi_2(r) + \dots + b_q\varphi_q(r). \quad (5)$$

Оптимальний вибір коефіцієнтів b_q і становить сутність універсального крайгінга. Якщо відоме значення показника C у точках r_i , тобто $C_i = C(r_i)$, причому число проб N перевершує число коефіцієнтів у рівнянні тренда $q(N > q)$. Тоді

$$C_i = m(r_i) + R(r_i); \quad (6)$$

$$m(r_i) = b_1\varphi_1(r_i) + b_2\varphi_2(r_i) + \dots + b_q\varphi_q(r_i), \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (7)$$

Оцінку компонента $m(r)$ у точці r_0 знайдемо у вигляді лінійної комбінації

$$\tilde{m}(r_0) = \sum_{i=1}^N p_i C_i. \quad (8)$$

Умова не зміщення такої оцінки

$$M[\tilde{m}(r_0) - m(r_0)] = 0. \quad (9)$$

Підставивши (6) і (8) в (9), отримаємо

$$\sum_{i=1}^N p_i \varphi_k(r_i) = \varphi_k(r_0), \quad k = 1, 2, \dots, q. \quad (10)$$

Додатковою умовою є вимога мінімуму дисперсії оцінки \tilde{m}

$$M[\tilde{m}(r_0) - m(r_0)]^2 = \min. \quad (11)$$

Мінімізація дисперсії методом множників Лагранжа приводить до системи рівнянь універсального крайгінга

$$\sum_{j=1}^q Q_{ij} b_j = P_j, j=1,2,\dots, q, \quad (12)$$

де Q_{ij} – елементи матриці опробування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах Q з q рядками і N стовпцями, причому $Q = \Phi^T S^{-1} \Phi$, де $\Phi = \|\varphi_{ij}(x_i)\|$; Φ^T – матриця, транспонована стосовно матриці Φ ; S^{-1} – матриця, зворотна матриці коваріаційної функції відхилень у точках опробування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах S , елементи визначаємо як

$$S_{ij} = M[R(r_i)R(r_j)], i, j = 1, 2, \dots, N.$$

У свою чергу, P_j представляє собою елементи вектора-стовпця P : $P = \Phi^T S^{-1} F$, де F – вектор-стовпець, елементи якого сутність значення показника C_i у точках опробування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах $r_i (i=1, 2, \dots, N)$.

Оцінку тренда в довільній точці r_0 знаходимо з виразу

$$\tilde{m}(r_0) = \sum_{k=1}^q \tilde{b}_k \varphi_k(r_0). \quad (13)$$

Для знаходження оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах в точці r_0 необхідно оцінити також компоненту $R(r_0)$. Проводячи крайгінг у відповідність до загальної теорії і враховуючи, що $M[R(r)] = 0$, отримаємо вираз оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах

$$\tilde{R}(r_0) = S_0 S^{-1} \tilde{R}, \quad (14)$$

де $S_0 = (S_{01}, S_{02}, \dots, S_{0N})$ – вектор-рядок, елементи якого $S_{0i} = M[R(r_i)R(r_0)]$; R – вектор-стовпець із елементами $f_i - \tilde{m}(r_i)$.

Розглянуті геостатистичні методи оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах (дискретний, випадковий і універсальний крайгінг) найбільш ефективні (по точності) в умовах геологічної і статистичної однорідності блоків, що оцінюємо. Однак на більшості родовищ ці умови рідко виконуються, що приводить до необхідності поділу блоків на однорідні об'єми. Нами запропонована модифікація крайгінга – індикаторний крайгінг, який дозволяє одержати ефективну геостатистичну оцінку об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах в блоках, що складенні різнотипними корисними копалинами. Сутність методу полягає в наступному. Поряд зі звичайними варіограмами вмістів якісних показників для кожного типу корисних копалини будують індикаторні варіограми. Для цього вводимо індикаторні мінливості $I(x)=1$, якщо проба в точці x віднесена до корисних копалини даного типу і $I(x)=0$, у випадку якщо проба в точці x віднесена до корисних копалини іншого типу. Отже для n типів корисних копалин уведуться n індикаторних мінливих $I_i (i=1, 2, \dots, n)$. Потім будують варіограми для індикаторних мінливих. Після побудови моделі мінливості проводимо звичайний крайгінг індикаторних мінливих у заданому блоці. Отримані оцінки $I_1^*, I_2^*, \dots, I_n^*$ представляють собою відносні частки корисних копалин кожного типу в блоці.

Після оцінки результати уточнюємо у такий спосіб. Мінімізуємо

$$\sum_{i=1}^n \omega_i [I_i - I_i^*] = \min$$

при обмеженнях

$$\begin{cases} I_1 + I_2 + \dots + I_n = 1; \\ I_1 \geq 0; I_2 \geq 0; \dots; I_n \geq 0, \end{cases}$$

де ω_i – вагові коефіцієнти, які задані заздалегідь, у найпростішому випадку $\omega_i = 1/n$.

У такій постановці остаточні оцінки I_i знаходимо методом квадратичного програмування.

Якщо відомі варіограми для вмістів Z_i по кожному типу корисних копалин, то середній вміст якісних показників у блоці знаходимо таким же способом. Тобто спочатку визначаємо оцінки за допомогою крайгінга мінливості $Z_1^*, Z_2^*, \dots, Z_n^*$, потім методом квадратичного програмування знаходимо остаточні оцінки Z_1, Z_2, \dots, Z_n , виходячи з виразу

$$\sum_{i=1}^n \omega_i (Z_i - Z_i^*)^2 = \min$$

при обмеженнях

$$\sum_{i=1}^n l_i Z_i = Z; Z_i \geq 0,$$

де Z – оцінка крайгінга в блоці по усередненій варіограмі по всіх типах корисних копалин.

Для обґрунтування доцільності включення в систему маркшейдерсько-геологічного управління вмістом якісних показників корисних копалин і залізородної сировини найбільш ефективних (по точності) математичних методів прогнозування характеристик об'ємно-якісних показників корисних копалин на великому фактичному матеріалі по експлуатованих залізородних родовищах було проведено порівняння розглянутих вище модифікацій крайгінга із трьома найбільш часто застосовуваними на практиці традиційними методами: середньозваженого арифметичного; зі зважуванням назад пропорційно квадратам відстаней; зі зважуванням з урахуванням анізотропії.

У результаті порівняння встановлена залежність точності оцінок об'ємно-якісних показників корисних копалин, що отриманні різними методами від виду моделі мінливості кількості інформації, розмірів і просторового співвідношення блоків, що оцінюємо і розвідувальної мережі. Дані порівняння методів прогнозування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння методів прогнозування характеристик об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах

Вид моделі прогнозування мінливості об'ємно-якісних показників корисних копалин	Похибка оцінок (%), що отриманні методами						
	середньозваженого арифметичного	зважуванням назад пропорційно квадрату відстаней	зі зважуванням і обліком анізотропії	дискретний крайгінг	випадковий крайгінг	універсальний крайгінг	індикаторний крайгінг
$C_{Fe_{загальне}} = C_T + C_K + C_C$	12,3	11,8	11,7	9,2	10,3	8,1	7,7
$C_{Fe_{магнетитов}} = C_K + C_C$	18,3	18,0	18,3	16,1	15,1	15,4	14,4
$C_{Fe_{окислене}} = C_K + C_C$	8,7	8,4	8,7	8,1	8,5	8,2	7,8

Примітка. C_T – закономірна складова (тренд); C_C – випадкова (некорелюєма) складова, яку характеризує деякий законом розподілу; C_K – випадкова (корелюєма) складова, що представляє собою реалізацію стаціонарної випадкової функції і характеризує автокореляційна (або структурна) функція

Розглянуто оцінку блоків малого і великого розмірів з різним числом розвідувальних даних у блоках і за межами. Ефективність методів визначалася по величині відносної похибки оцінок у порівнянні їх з фактично вимірюваними значеннями на відпрацьованих ділянках залізистих кварцитів родовищ.

Висновки та напрямок подальших досліджень. З наведених даних слідує, що універсальний крайгінг, що враховує автокореляції відхилень при підборі рівнянь тренда, дає помітно кращі результати для блоків малого розміру. При відсутності тренда методи оптимального статистичного оцінювання характеризуються меншою похибкою, величина якого залежить від відносного внеску C_K у загальну мінливість. Дискретний крайгінг дає тим меншу похибку у

порівнянні з іншими методами, чим більше корелюємо випадкова складова. Результати, які отриманні всіма методами, по точності порівнянні, якщо випадкова складова C_c превалює. При оцінці якісних показників великих блоків випадковий крайгінг у порівнянні із середньозваженою арифметичною оцінкою дає кращі результати при наявності кореляційної складової C_k і за умови, що величина інтервалу кореляції порівнянна з лінійними розмірами блоку. При випадковому розміщенні ознаки обидва методи по точності оцінок дають фактично однакові результати. Запропонований індикаторний крайгінг є найбільш ефективним серед всіх методів (у тому числі і серед розглянутих геостатистичних) при оцінці якісних показників блоків, які складені корисними копалинами різних типів. Порівняння по точності результатів застосування традиційних і геостатистичних методів при оцінці об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах суперечить теорії оптимального статистичного оцінювання і може бути пояснена тільки невдалим вибором моделі мінливості показників або окремих її параметрів. Детальний аналіз мінливості показників і конкретних умов оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин блоків повинен завжди передувати обґрунтованому вибору математичного методу прогнозування.

Список літератури

1. Аврамов В. Е., Азбель Е. И., Ефремова Н. И. Планирование эксперимента и прогнозирование качества сырья на горных предприятиях. Новосибирск, Наука, 1979.
2. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1. М., Мир, 1974.
3. Гудков В. М., Васильев В. М., Николаев К. П. Прогноз и планирование качества полезного ископаемого. М., Недра, 1976.
4. Геометризація родовищ корисних копалин : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком «Гірництво». / В. Д. Сидоренко, П. Й. Федоренко, М. В. Шолох, А. В. Переметчик, Т. О. Подоїніцина. – Кривий Ріг : Видавничий центр КТУ, 2008. – 367 с.
5. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М., Мир, 1968.
6. Марголин А. М. Оценка запасов минерального сырья. Математические методы. М., Недра, 1974.
7. Шолох Н. В. Горно-геометрический мониторинг прогнозирования качественных показателей железорудных месторождений / Н. В. Шолох // Сб. научных трудов второго международного симпозиума 12–17 июля 1999 года «Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке». – Ялта, 1999. – С. 218–220.
8. Шолох Н. В. Прогнозирование показателей геохимического поля месторождений железистых роговиков Кривбасса / Н. В. Шолох // Научно – техн. сборник «Разраб. рудн. месторождений». – Кривой Рог, 2005. – Вып. 89. – С. 144–147.
9. Шолох Н. В. Выбор оптимальной методики оценки исходных геологических данных при прогнозировании качественных показателей железорудных месторождений / П. И. Федоренко, Н. В. Шолох, А. В. Переметчик // Научно – техн. сборник «Разраб. рудн. месторождений». – Кривой Рог, 2007. – Вып. 91. – С. 102–106.
10. Шолох М. В. Прогнозування якісних показників корисних копалин при комплексному освоєнні родовища / М. В. Шолох, О. Л. Топчій // Зб. наукових праць «Вісник КНУ». – Кривий Ріг, 2012. – Вип. 32. – С. 241–245.
11. Шолох М. В. Моніторинг прогнозування показників корисної копалини родовища на основі стохастичного моделювання відомостей і взаємозалежних динамічних рядів / М. В. Шолох, М. П. Сергієва // Сб. матеріалів міжнародної науко – техн. конференції 23–25 мая 2013 года. – Донецк : ДонНГУ, 2013. – Вып. 3. – С. 47–52.
12. Шолох М. В. Моделювання динамічних рядів прогнозування якісних показників руди і корисної копалини у рудній сировині / М. В. Шолох // Науково – техн. збірник «Гірничий вісник» ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг, 2016. – Вип. 101. – С. 49–55.
13. Шолох М. В. Методика визначення і нормування вмісту якісних показників корисних копалин у промислово-балансових запасах / М. В. Шолох. – Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2016. – 160 с.
14. Kwa B. L. Mousset-Jones P. F. Indicator approach to the mineral reserve estimation of a gold deposit in Nevada – In: 18 th Int. Symp. APCOM; London, 1984, p. 343–366.
15. Sholokh M. V. Mine surveying support for internal career averaging of qualitative indicators of minerals in the quarry ore line / M. V. Sholokh // For participation in the 2nd International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Mining Industry». December 14, 2017, Kryvyi Rih. – s. 173.
16. Sholokh M. V. Variance in the ready-to-extract balance industrial deposits with a view of the planned performance of the producing units / M. V. Sholokh, M. P. Sergieva // For participation in the 2nd International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Mining Industry». December 14, 2017, Kryvyi Rih. – s. 175.
17. Sholokh M. V. Methodology for the standardization losses of ready-to-extract solid minerals / M. V. Sholokh // For participation in the 2nd International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Mining Industry». December 14, 2017, Kryvyi Rih. – s. 179.

Рукопис подано до редакції 05.04.2018

О.М. СІНЧУК, д-р техн. наук, проф., І. О. СІНЧУК,
Т.М. БЕРІДЗЕ, кандидати техн. наук, доценти
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

Мета. Метою даної роботи є аналіз сучасного стану споживання палива Україною та виробництво електричної енергії; визначення факторів, що загрожують енергетичній безпеці України; дослідити шляхи усунення кризових явищ у енергетичному секторі.

Методи дослідження. Дослідження засноване на використанні законів, закономірностей і категоріальному апарату. У процесі наукового дослідження використовувалися загальнонаукові методи дослідження (порівняння, узагальнення, метод аналогій, структурний аналіз і синтез), прийоми логіко-теоретичного аналізу, спеціальні економіко-математичні методи. Нормативною базою дослідження послужили офіційні документи різних державних і урядових органів, що відображають і регламентують ті або інші аспекти системи енергобезпеки у рамках збору, обробки й представлення інформації. Як інформаційні джерела, використані законодавчі й нормативні акти, офіційні документи різних державних і урядових органів, що регулюють енергетичне забезпечення на території України, матеріали наукових конференцій і семінарів, ресурси глобальної інформаційної системи Інтернет, інформація Державної служби статистики України. Теоретичною основою досліджень, послужили наукові праці вітчизняних і закордонних дослідників в області енергетичної безпеки в умовах перехідної економіки.

Наукова новизна. Обумовлюється умовами високої залежності Української економіки від кон'юнктури, що складається в її енергетичному секторі. Існує необхідність розробки й утілення шляхів подолання загрозливих для економіки явищ, що є наслідками дисбалансів і криз в енергетиці.

Практична значимість. Досліджені фактори-складові енергетичної безпеки, що дозволить визначити відповідні рівні енергетичної безпеки, як складової економічного розвитку. Існує необхідність розробки й утілення шляхів подолання загрозливих для економіки явищ, що є наслідками дисбалансів і криз в енергетиці.

Результати. Проблеми, висвітлені в роботі, тісно пов'язані з науковими та практичними завданнями щодо ефективного використання та розподілу наявних енергетичних ресурсів, розвитку альтернативної енергетики. Україна є державою з високим рівнем розвитку енергетики. Сьогодні це один із регіональних лідерів у виробництві електричної енергії, вагомий гравець на світових ринках деяких палив (вугілля, урану).

Ключові слова: енергетика, ефективність, енергоємність, енергетична безпека, фактори, енергоресурси

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-125-131

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На теперешній час в Україні вирішення проблеми енергонезалежності залишається пріоритетним напрямком державного регулювання економіки. Головним завданням державної Стратегії сталого розвитку «Україна – 2020» є забезпечення енергетичної безпеки і перехід до енергоефективного та енергоощадного використання та споживання енергоресурсів із впровадженням інноваційних технологій. Поєднання в рамках Держенергоефективності двох різнонаправлених функцій – зниження споживання енергії шляхом розвитку енергоефективності та збільшення її виробітку шляхом розвитку генерації з відновлюваних джерел енергії – не дозволяє сконцентруватись на якісному виконанні жодної з них. Управління державних підприємств галузі досі не реформовано, що призводить до постійних корупційних скандалів та вкрай непрозорого і неефективного їх функціонування [1, 2, с. 35].

Аналіз досліджень і публікацій. Значна кількість науковців в своїх дослідженнях визначають концептуальні та методологічні підходи до побудови системи оцінювання енергетичної безпеки [3]. Теоретичним та практичним аспектам енергетичної безпеки присвячено ряд робіт, серед яких можна виділити праці Б. Андрушківа, Г. Бондаренка [4], В. Баранніка, Н. Воропая, В. Гавриша, А. Дорошкевича, А. Жаркіна, З. Залози, М. Земляного О. Кириленко, Г. Півняка, Б. Стогнія, А. Шидловського [2-10] та інших. Існують різноманітні підходи щодо інструментарію оцінювання рівня стану енергетичної безпеки [11].

Як зазначає Т.І. Салашенко, пріоритетні напрями - зміцнення енергетичної безпеки України в сфері електроенергетики повинні сприяти створенню мобілізаційного резерву маневрових електрогенеруючих потужностей, що працюють на внутрішніх джерел енергопропозиції; підвищенню ефективності трансформації паливно-енергетичних ресурсів в електроенергію належної якості; економії кінцевої енергії та енергоносіїв на всіх етапах їх трансформації та споживання електроенергії; переорієнтації національного електроенергетичного сектору з імпортова-

них джерел енергопропозиції на національні, основою яких мають стати місцеві, нетрадиційні та поновлювальні енергоресурси. [12].

Постановка завдання. Основною метою є дослідження наявних проблем енергетичного сектору, можливих шляхів зменшення негативного впливу цих проблем на економіку України. У контексті такої мети виконано наступні завдання: проаналізовано сучасний стан споживання палива Україною та виробництва електричної енергії; перелічено фактори, що загрожують енергетичній безпеці України; вказано шляхи усунення кризових явищ у енергетичному секторі.

Викладення матеріалу та результати. Ці завдання є надзвичайно актуальними для України, енергоємність ВВП якої сягає 0,88 одиниць умовного палива на 1 долар виробленої продукції, економіка якої майже повністю залежна від цін на паливо, а на долю альтернативних джерел енергії припадає 1% всієї виробленої електроенергії (без урахування великих ГЕС).

Паливно-енергетичні ресурси (ПЕР) – сукупність різних видів палива та енергії (продукція нафтопереробної, газової, вугільної, торф'яної та сланцевої промисловостей, електрична енергія атомних та гідроелектричних станцій, а також місцеві види палива), якими володіє країна для забезпечення виробничих, побутових і експортних потреб. Зважаючи на абсолютну залежність господарства від ПЕР, є сенс розглядати питання забезпеченості ПЕР в контексті питання економічної безпеки країни. Узагалі кажучи, поняття економічної безпеки є складним і багатогранним. Тому вважатимемо енергетичну та економічну безпеку тотожними поняттями, оскільки йтиме саме мова про енергетичний аспект економічної безпеки.

Під енергетичною безпекою країни розуміють спроможність держави забезпечити ефективне використання власної паливно-енергетичної бази, здійснити оптимальну диверсифікацію джерел і шляхів постачання енергоносіїв, реалізувати потенціал енергозбереження, збалансувати попит та пропозицію на паливно-енергетичні ресурси [13,14]. Уперше проблема енергетичної безпеки була усвідомлена в промислово розвинених країнах на початку 70-х років минулого століття під час близькосхідного конфлікту. Тоді була розроблена енергетична політика як в рамках кожної з цих країн, так і Міжнародного енергетичного агентства (МЕА). Її складовими стали широке залучення до паливно-енергетичного балансу власних енергоресурсів, пріоритетний розвиток ядерної енергетики і вугільної промисловості, активна енергозберігаюча політика, створення стратегічних резервів енергетичних ресурсів тощо.

Зазначимо, що баланс ПЕР, який склався в Україні, відповідає не тільки загальним потребам у певних ПЕР, а й характеризується такими факторами як прийнятна вартість та доступність видобутку і транспортування.

У цілому вважатимемо ПЕР, що склався у світі на даний момент, сталим. Тому в цьому контексті ми можемо розглянути Україну. Структура споживання ПЕР у світі за останнє століття та прогнозований рівень часток основних ПЕР у ПЕР на наступні 20 років вказані у наступній табл.1 [7].

Таблиця 1

Структура споживання ПЕР

Показник/ Рік	1900	1950	1970	1980	1990	2000	2010	2030
Вугілля (%)	94,4	60,5	34,4	29,5	28,9	29,6	22,3	22,1
Нафта (%)	3,8	26,5	41,7	43,0	36,8	34,1	35,3	35,4
Газ (%)	1,4	9,6	19,4	20,6	24,0	26,5	23,1	25,8
ГЕС (%)	0,4	3,4	4,2	5,0	5,4	5,2	6,2	4,3
АЕС (%)	0	0	0,3	1,9	4,9	4,6	2,3	2,2
Усього (млн. т у.п.)	700	2536	7038	8910	11085	12417	17300	23300

Україна є великим виробником та експортером електричної енергії. Значна її частина одержується на ГЕС. Проте наша країна активно також експлуатує АЕС (у деякі роки ними вироблялася переважна кількість електроенергії). Табл. 2 дає змогу ознайомитися з наявними ресурсами головних ПЕР та обсягами виробництва з неуглеводних джерел електроенергії у деяких країнах світу в 2000 році.

Наявні ресурси головних ПЕР та обсяги виробництва

Держава / Показник	Населення, млн. осіб	Нафта, млн. т (т на особу)	Газ, млрд. м ³ (тис. м ³ на особу)	Вугілля, млн. т (т на особу)	Виробництво НВДЕ, атомної, гідроенергії та інше, %
Австралія	19,47	445 (22,9)	1443 (74,1)	82090 (1416)	11,3
Індія	1032,36	645 (0,6)	647 (0,6)	84396 (81,75)	8,6
Китай	1271,85	4793 (3,8)	1368 (1,1)	114500 (90,0)	7,2
Японія	127,21	8 (0,06)	39 (0,3)	773 (6,1)	21,5
США	285,91	3728 (13,0)	4740 (16,6)	249994 (874,4)	12,4
Канада	31,08	779 (25,1)	1719 (55,3)	6578 (211,7)	32,6
Німеччина	82,34	42 (0,5)	285 (3,5)	66000 (801,6)	15,7
Великобританія	58,79	665 (11,3)	760 (12,9)	1500 (25,5)	15,2
Італія	57,93	61 (1,1)	191 (3,3)	34 (0,6)	15,3
Франція	60,91	21 (0,3)	14 (0,2)	36 (0,5)	40,7
Росія	144,75	6654 (46,0)	47730 (329,7)	157010 (1084,7)	11,4
Україна	49,09	173 (3,5)	825 (16,8)	34153 (695,7)	15,7
Весь світ	6102,56	142478 (23,4)	151502 (24,8)	984453 (161,3)	15,9

Лише один поверхневий аналіз даної таблиці та наявність нових даних по кожній країні дозволяють стверджувати про помірне, але чітке зниження питомої частки нафти, газу, вугілля у ПЕБ більшості європейських країн. Значна динаміка помітна в останньому стовпчику таблиці. Характерно це й для України: ця цифра, за даними Держкомстату, в 2009 році становила понад 55%, а в 2010 році частка лише одних АЕС у загальному виробітку електроенергії в середині 2010 року склала 51,9% (дані озвучені на першій міжнародній конференції «Атомно-енергетичний комплекс України: міжнародне співробітництво та кооперація, інвестиції, ядерно-паливний цикл», що проходила 24-25 червня 2010 року в Києві). Зауважимо, що такі високі показники АЕС зумовлені кризою у 2009-2010 роках, що спіткала вугільну промисловість. У результаті цього були зупинені деякі ТЕС, а виробіток енергії ними знизився. У середньому ж в Україні спостерігається такий баланс виробітку електричної енергії: ТЕС – 47%, АЕС – 43%, ГЕС – 9%, альтернативні джерела – 1%. У 2010 році в Україні вироблено 188,8 млрд. кВт×год. електроенергії.

Перевагою альтернативних джерел енергії є те, що вони переважно доступні на всій території України (сонце, вітер). Але вони мають й важливий недолік: високу собівартість та потребу значних інвестицій при порівняно малій віддачі. Саме тому наша країна продовжує одержувати енергію з традиційних джерел (вугілля, нафта, газ), а природний фактор є досить значним у низці факторів загрози енергетичній безпеці України.

Інфраструктурний та науково-технічний фактори. Значними є втрати енергії у житлово-комунальному господарстві України. Використання застарілих будівельних та ізоляційних матеріалів, неефективне планування опалювального сезону та застаріле обладнання на підприємствах житлово-комунальної теплоенергетики веде до втрат енергії на рівні 40%. Переважна більшість втрат енергії припадає на котельні, трубопроводи та ТЕЦ. Прикладом, наша країна експлуатує котельні, ККД яких в середньому складає 70%, тоді як у країнах західної Європи цей показник сягає 92-95%. А зношені теплові мережі призводять до втрат майже половини транспортованої теплової енергії. Модернізація теплових мереж, ТЕЦ і котелень, встановлення лічильників газу та гарячої води дозволить зекономити до 40% палива, спожитого підприємствами комунальної теплоенергетики.

У промисловості джерелом проблем є використання застарілих і неефективних агрегатів (особливо це стосується металургії та хімічної промисловості). Для оцінки здатності країни заощаджувати енергетичні ресурси розглядають такий показник як енергоємність ВВП – кількість умовного палива, витраченого на виробництво продуктів і послуг вартістю 1 долар. За даними Міністерства палива та енергетики, для України цей показник становить 0,88, що є небезпечно великим значенням та вказує на значні ризики для економіки країни та її суверенітету (для порівняння, енергоємність ВВП США, Китаю та Польщі відповідно 0,23, 0,34 та 0,34; при цьому ці країни виробляють значно більше продукції, ніж Україна).

Окремим пунктом стоїть проблема застарілого обладнання в системі виробництва та тран-

спортування електричної енергії та палива. В Україні через аварійні зупинки агрегатів ТЕС і АЕС енергетики щорічно втрачають близько \$500 млн. Ще \$800 млн. складають втрати через зношеність електричних мереж та трансформаторів. Україна має унікально високий рівень втрат енергії в мережах – 14% проти 6-8% у розвинених країнах. А витрати палива нашими електростанціями на 25% перевищують європейські. Як наслідок, висока собівартість української електроенергії та непаралельна робота з Європейською об'єднаною електромережею не дають змогу Україні заробляти на експорті електроенергії, якої у нас зараз великий профіцит. Через пошкодження в газових мережах Україна щорічно втрачає 1 млрд. м³ газу, що приблизно складає 2% від його споживання. Модернізація газових мереж, а також газоперекачувальних агрегатів на компресорних станціях допоможе Україні уникнути цих втрат та заощадити до 40% технічного газу (нині обсяги його щорічного використання складають 7 млрд. м³). На думку експертів, є сенс потурбуватися й про встановлення сучасних лічильників обсягу транспортованого газу. За підрахунками, похибка вимірювань складає 0,5-2,5%. Тобто лише за 2007 рік фактично не було враховано 0,5-2,5 млрд. м³ газу, транспортованого через національну ГТМ, а країна недоодержала мільйони доларів прибутку.

У цілому прямі фінансові втрати в енергетиці спричиняють кумулятивні втрати в інших галузях, адже ці гроші можна було б спрямувати на їхній розвиток.

Тепер про науково-технічну складову питання. Очевидно, що заощадити можна шляхом розробки більш калорійного палива, впровадження нових технологій в усіх галузях господарства (зокрема у металургії, хімії, будівництві, нафтогазовидобуванні). Важливими також є роботи по підвищенню ККД транспортних двигунів та агрегатів електростанцій, зменшенню втрат в енергомережах, дослідженню та впровадженню нових ізоляційних матеріалів тощо.

Геополітичний фактор. Відсутність власного палива у потрібній кількості змушує Україну купувати енергоресурси на зовнішньому ринку. Це одразу тягне за собою низку ризиків. Головний з них – відсутність можливості диверсифікувати джерела постачання. У такому випадку монополні постачальники можуть диктувати країні свої вимоги (включно до таких, що несуть загрозу політичній незалежності, не кажучи вже про економічну).

Як бачимо, кон'юнктура цілком сприятлива, але залежить вона лише від стану відносин між Росією та Україною та не базується на принципах ринку. Тому вона не може вважатися безумовним досягненням в забезпеченні української економіки.

Альтернативні стратегії України пов'язані з планами нарощування власного видобутку газу (чорноморський шельф розроблятиме американська компанія Venco International та її дочірня компанія Venco Prykerchenska). На початку вересня 2010 року були озвучені плани щодо будівництва в Одесі морського терміналу для прийняття зрідженого газу. Передбачається, що вартість його складе \$1,5 млрд., а ресурсною базою для нього стане родовище газу «Шах-Деніз – 2» в Азербайджані. Декларувалися плани до 2020 року довести частку імпортного зрідженого газу неросійського походження до 30%. Проте досі незрозумілим є майбутнє проекту та його економічна доцільність. Іншими векторами енергетичної політики України в цьому напрямку є намагання заблокувати будівництво газопроводів «Північний потік» і «Південний потік», позиціонуючи себе і свою ГТМ як надійних партнерів, та намагання якщо не перешкодити будівництву газопроводу «Навіссо», то хоча б прийняти участь у його спорудженні.

Соціально-політичний фактор. Як не дивно, джерело небезпеки для енергетичного сектору у значній мірі знаходиться всередині України. Воно характеризується нездатністю правлячої еліти усвідомити важливість реформ у енергетиці та розробити концепцію реформування, відсутністю політичної волі запровадити такі реформи, нерозумінням населенням важливості реформування для подальшого зростання його добробуту та ворожим сприйняттям на всіх рівнях будь-яких спроб руйнації традиційних неефективних форм взаємовідносин в енергетичному секторі.

Для України це, в першу чергу, виявляється у традиційних державних дотаціях енергетикам. Така форма господарювання однозначно не є ефективною. Проте уряд, керуючись популярним, продовжує утримувати економічно необґрунтовані ціни на паливо для населення. Прикладом, з 2008 року до серпня 2010 року ціни на газ для підприємств комунальної теплоенергетики не перевищували 872,78 грн./тис. куб. м при середній ціні на газ за цей час \$350/тис. куб. м. З 1 серпня Національна комісія регулювання електроенергетики підвищила граничні ціни на газ на 50%, або на 436,42 грн./тис. куб. м до 1 309,2 грн./тис. куб. м. При цьому цей крок все ще не дозволяє вийти на самоокупність НАК «Нафтогаз України», а розмір його дефіциту залиша-

ється на рівні 7,4 млрд. грн. Урядом заплановане подальше підвищення газу для населення на 50% кожні півроку у рамках домовленостей з МВФ у Меморандумі про співпрацю, але можна упевнено стверджувати, що ці кроки зустрінуть вороже сприйняття населенням. Тому Уряд буде намагатися у будь-який спосіб відстрочити підняття цін.

Реалізація енергетичної безпеки в Україні визначаються факторами впливу на енергетичну безпеку і вважаються: структура енергоносіїв в енергоспоживанні, рівень освоєності та використання наявних власних ресурсів, глибина їх переробки та характеристики енергогенеруючих технологій, диверсифікованість джерел енергопостачання і шляхів транспортування, транспортна інфраструктура, використання альтернативних джерел енергії, стан контролю за витратами ПЕР, реалізація політики енерго- та ресурсозбереження. Для кожної країни вагомість того чи іншого фактора залежить від конкретних умов, що складаються.

Аналізуючи вище згадані фактори можна виділити два основних напрями забезпечення енергетичної безпеки, а саме: постачання фізичних обсягів енергоресурсів у відповідності до потреб економіки, зменшуючи при цьому вплив зовнішніх факторів на стабільність енергозабезпечення, та зниження темпів зростання потреби економіки у енергоносіях при забезпеченні стабільного зростання ВВП шляхом підвищення ефективності використання енергоресурсів національною економікою. Причому ці напрями також сприяють укріпленню економічної безпеки держави. Кожен із приведених напрямів має свої пріоритети.

Загалом реалізація енергетичної безпеки України з урахуванням перелічених факторів передбачає два напрями.

Реалізація першого напрямку має на увазі забезпечення:

максимальне використання наявних власних енергоресурсів та джерел енергії шляхом інтенсифікації власних обсягів видобутку, поглиблення глибини переробки, нових технологій перетворення енергії, використання вторинних енергоресурсів;

унікнення монопольної залежності поставок енергоносіїв з Росії (практично монопольні поставки нафти, газу ядерного палива) через диверсифікацію джерел імпорту енергоносіїв та шляхів транспортування;

модернізації основних фондів, у першу чергу підприємств ПЕК (рівень зношеності основних фондів ПЕК складає біля 60%);

розроблення сукупності заходів для забезпечення життєдіяльності економіки на випадок непередбачуваних обставин у ПЕК чи з поставками ПЕР.

Реалізація другого напрямку має забезпечити:

зміну структури промислового виробництва шляхом зменшення питомої ваги енерго- та ресурсоемних галузей;

комплексну модернізацію та переозброєння господарських комплексів України на основі енергозбереження, впровадження найновіших енергозберігаючих технологій, сучасних телекомунікаційних та комп'ютерних мереж;

зменшення марнотратного та безгосподарного використання ПЕР та вторинних енергоресурсів;

розширення використання альтернативних джерел енергії;

формування у населення держави енергозберігаючого світогляду.

Аналіз пріоритетів обох напрямів забезпечення енергетичної безпеки вказує на енергозбереження як ключовий напрям прикладання зусиль держави.

Висновки та напрями подальших досліджень. На сучасному етапі перед Україною стоїть задача знизити енергоємність своєї економіки та тим самим гарантувати її безпеку. Досягнути це можна кількома шляхами. Екстенсивний – нарощування власного видобутку та імпорту від різних постачальників – є найбільш прийнятним для України з урахуванням її економічного стану. Проте не можна повністю відсторонитися від запровадження альтернативної енергетики. Рано чи пізно, із вичерпанням традиційних палив, їхня вартість стане більшою за вартість альтернативних енергоресурсів. Зустріти цей момент необхідно з відносно розвиненою альтернативною енергетикою.

Конче необхідним для України є модернізація її житлово-комунального господарства, теплових і електричних мереж, котелень, генераторів на електростанціях. Якщо замінити застаріле обладнання на нове, Україна може майже вдвічі знизити свої витрати на теплову та електричну енергію.

Реформування ПЕК, встановлення чесних тарифів і прозорих правил гри хоча й призведе до невдоволення населення, проте дасть результат у середньостроковій перспективі. Адже вивільнені кошти, що зараз ідуть на дотації енергетикам, можна буде спрямувати в інші сектори. Потрібна чітка роз'яснювальна робота з населенням щодо необхідності запровадження непопулярних реформ.

Важливим є пошук нових постачальників енергоносіїв. Важливим, для вітчизняних енергоносіїв, залишається проблема підвищення якості електричної енергії, що виробляється. Вирішення цієї проблеми дозволить знайти нових покупців (в т. ч. серед держав Євросоюзу) важливого вітчизняного стратегічного продукту. Це дозволить уникнути монополії на енергетичному ринку. умовах глобалізації неможливим явищем є енергетична безпека в одній країні у відриві від контексту глобальної енергетичної безпеки. Тому необхідним є об'єднання зусиль країн у забезпеченні одне одного енергетичними ресурсами, підтримці чесних і прозорих відносин в енергетичній сфері. Тобто важливим є тісне співробітництво України в енергетичній сфері з іншими країнами світу.

Забезпечення економічного добробуту як окремої країни, так і всього світу в цілому є неможливим без дотримання на високому рівні енергетичної безпеки, як складової економічного розвитку.

Список літератури

1. **Шевцов А. І.** Енергетична безпека України. Стратегія та механізми забезпечення. / За заг. ред. д-ра техн. наук, проф. А. І. Шевцова. - Дніпропетровськ: Пороги, 2002. – 237 с.
2. Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року [текст] / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, А.В. Праховник, С.П. Денисюк та ін. - К.: Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. - 275 с.
3. Геоелектрична та геополітика України. Навчальний посібник [текст] / А.К. Шидловський, Г.Г. Півняк, М.В. Рогоза, С.І. – Д. Національний гірничий університет, - 2002ю- 282 с. Випанасенко,
4. **Шидловський А. К.** Енергетичні ресурси та потоки / За заг. ред. А. К. Шидловського. – К. : УЕЗ, 2003. – 327 с.
5. **Мелентьев Л.А.** Оптимизация развития и управления больших систем энергетики: Учеб. пособие. - М.: Высш. шк., 1982. - 319 с.
6. **Бондаренко Г. В.** Енергетична безпека як визначальна складова економічної незалежності України [Електронний ресурс] / Г. В. Бондаренко, В. О.Щерба. –2009. –С. 98 – 108. – Режим доступу до сайту : <http://www.nbu.gov.ua>.
7. Енергетична стратегія України на період до 2030 р.: Постанова Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 1071 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>
8. **Першин В.П.** Енергозбереження як фактор сталого розвитку вітчизняної економіки. /Першин В.П. Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність 2002» – К.: Навчальна книга, 2002 – 56-59 с.
9. **Шидловський А. К.** Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття / Під загальною редакцією А.К.Шидловського, М.П.Ковалка – Київ: УЕЗ, - 2001 р. – 358 с.
10. **Зеркалов Д.В.** Энергетическая безопасность. Монография. / Д. В. Зеркалов. – К.: Основа, 2012. – 920 с.
11. **Ковалев М.** Методология анализа мировых энергетических стратегий / М. Ковалев, Фараж К., Барауля О. // Вестник ассоциации белорусских банков. – 2013. – № 11. – С. 12-37.
12. **Лукін О.Ю.** Вуглеводний потенціал надр України та основні напрямки його освоєння // Буріння. – 2009. – № 4. – С. 24-32. 9. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року: Розпорядження Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 1071-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1071-2013-p>
13. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5+2627>
14. **Салашенко Т.І.** Енергетична безпека України в сфері електроенергетики: системні проблеми та пріоритетні напрями / Т.І. Салашенко // Ефективна економіка 2016 № 5. Режим доступу <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4970>
15. Проблема энергетической независимости Украины и пути ее решения // – Всеукраїнська експертна мережа – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.experts.in.ua/baza/analytic/index.php?ELEMENT_ID=10951
16. Потрібна енергетична залежність України // Інформаційно-аналітичний ресурс «Енергетичний ринок». – 26.11.2014 р. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://energy-market.com.ua/enerhetychnyy-gynok/novyny/analytika/potriyna-enerhetychna-zalezhnist-ukrayiny/>

Рукопис подано до редакції 13.04.2018

С.А. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., С.А. ЛУЦЕНКО, канд. техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГРУППЫ КАРЬЕРОВ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

Цель. Усовершенствовать научно-методическую базу в области проектирования и планирования открытых горных работ путем разработки новых и корректировки существующих методов планирования развития горных работ и определения главных параметров карьеров, которые должны учитывать изменение интенсивности отработки месторождений в течение продолжительных периодов в зависимости от спроса на железорудную продукцию.

Методика. В основу стратегии развития горных работ положена идея: производительность горного предприятия должна корректироваться в соответствии с изменяющимися внешними условиями на протяжении всего срока его эксплуатации. При этом производительность каждого карьера, входящего в состав горно-обогатительного комбината следует определять исходя из наибольшей эффективности работы ГОКа.

Реализация этой идеи осуществлялась за счет разработки методики перераспределения производительности группы карьеров, входящих в состав горно-обогатительного комбината, которая учитывает взаимосвязь режима горных работ и производительности по руде при изменении потребности в железорудной продукции.

Результаты. Разработана методика определения производительности группы карьеров, входящих в состав горно-обогатительного комбината, которая учитывает взаимосвязь режима горных работ и производительности по руде при изменении потребности в железорудной продукции.

Научная новизна. Предложенная методика позволяет адаптировать горные производства, к меняющимся условиям рынка и при этом, в отличие от существующих методик учитывает взаимосвязь режима горных работ и производительности карьера по руде.

Практическая значимость. Предложенная методика определения производительности группы карьеров, может использоваться на комбинатах при составлении годовой программы развития горных работ при изменении потребности в железорудной продукции. Доказано, что лучшим распределением производительности карьеров по руде в стратегии развития горных работ Северного ГОКа является вариант, когда Первомайский карьер работает с максимально возможной производительностью, а Анновский карьер обеспечивает производительность в 9 млн. т/год, которая необходима для выполнения стратегии комбината.

Ключевые слова: открытые горные работы, группа карьеров, производительность карьеров по руде, режим горных работ, стратегия развития горных работ.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-131-136

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Одной из важнейших задач проектирования карьеров является принятие технических решений, обеспечивающих стабильную, бесперебойную работу карьера и горно-обогатительного комбината в целом по добыче полезного ископаемого заданного качества и с минимальными затратами [1]. Современные подходы к проектированию карьеров основаны на допущении, что параметры внешней и внутренней среды будут относительно постоянными, а следовательно, не предусматривается значительных изменений конструкции и параметров горнотехнической системы в длительной перспективе. Поэтому при проектировании всегда стремились принять стабильный календарный график на достаточно протяженный срок разработки, закладывая в его основу инвестиции, способствующие решению долгосрочных задач развития рабочей зоны.

Практика работы карьеров показывает, что в кризисные периоды резко происходит падение объемов вскрышных работ. Такое снижение отражает стремление предприятий ограничить рост издержек производства за счет формирования временно нерабочих бортов карьеров, а также рабочих бортов с повышенными углами наклона. Это вызвано во многом невозможностью горнодобывающих предприятий обеспечить гибкое реагирование на изменение внутреннего и внешнего спроса на продукцию без значительного роста затрат на разработку, так как в проектах на разработку месторождения не предусматривается изменения интенсивности отработки месторождений в течение продолжительных периодов. Кроме этого отсутствуют механизмы по обоснованному выбору производственной мощности карьера и режима горных работ, с учетом их взаимосвязи [2, 3], при изменении потребности в железорудном сырье [4]. Так, увеличение потребности в полезном ископаемом, в большинстве случаев, приводит к увеличению объемов добычи, при этом коэффициенты вскрыши не изменяются, снижение спроса - к уменьшению объемов добычи полезного ископаемого, простоям оборудования, зданий и сооружений, сок-

ращению трудящихся, снижению коэффициента использования оборудования во времени. Наряду с этим для снижения себестоимости товарной продукции уменьшаются коэффициенты вскрыши. Следствием этого, является наличие на предприятиях отставания по вскрышным работам, возникновение внеплановых временно нерабочих бортов, за счет нарушения закона соразмерного ведения работ и развития карьерного пространства, а также формирование временно нерабочих бортов в добычной зоне, что является недопустимым. Периодически возникает необходимость в пересмотре предыдущих проектов, из-за отклонения фактического состояния горных работ от проектных решений. Поэтому возникает необходимость в адаптации горных производств, к меняющимся условиям рынка.

При работе карьеров с постоянной производственной мощностью, возникают дополнительные расходы, связанные с хранением нереализованной готовой продукции на складе – в период падения спроса, а также предприятия упускают возможность увеличить прибыль в период роста спроса из-за невозможности оперативной интенсификации производства для покрытия потребности рынка. В связи с этим изменились цели отечественных горных предприятий. Первостепенное значение приобрели вопросы обеспечения конкурентоспособности, которая зависит от принятой стратегии развития горных работ [5].

В этих условиях производительность горного предприятия должна корректироваться в соответствии с изменяющимися внешними условиями на протяжении всего срока его эксплуатации [6]. Т.е существенно повысить экономическую эффективность разработки возможно за счёт реализации гибкого изменения объемов добычи при изменении спроса на добываемую продукцию. Производительностью необходимо управлять как на уровне отдельного карьера, или группы карьеров комбината, так и на уровне группы предприятий одного владельца с целью получения максимума прибыли. Если в состав горно-обогатительного комбината входит несколько карьеров, то производительность каждого из них следует определять исходя из наибольшей эффективности работы ГОКа.

Анализ исследований и публикаций. Вопросы совершенствования методов определения производственной мощности карьера нашли отражение в трудах многих ученых: В.В. Ржевского [7], А.И. Арсентьева [8], Б.П. Юматова, М.Г. Новожилова, Шпанского О.В. [9], В.С. Хохрякова, В.Г. Близнюкова [10], Н.В.Мельникова [11], К.Е. Веницкого, Э.И. Реентовича, Б.А. Симкина. В результате выполненного анализа научных публикации было установлено, что существующая научно-методическая база в области проектирования и планирования открытых горных работ не предусматривает изменения интенсивности отработки месторождений в течение продолжительных периодов. Это свидетельствует об актуальности разработки новых и корректировки существующих методов планирования развития горных работ и определения главных параметров карьеров, которые требуют надежных оптимальных проектных решений. При этом не учитывается, что методы определения главных параметров карьера, как отдельно взятого карьера, так и группы карьеров горно-обогатительного комбината, должны быть тесно связаны с решением комплекса задач, требующих системного подхода к созданию методик определения оптимальных параметров и показателей разработки, учитывающих специфику этих месторождений.

Постановка задач. Поэтому была поставлена цель – разработать методику перераспределения производственной мощности группы карьеров, входящих в состав горно-обогатительного комбината при изменении потребности в железорудной продукции, которая учитывает взаимосвязь режима горных работ и производительности по руде, исходя из условия обеспечения норматива готовых к выемке запасов.

Изложение основного материала. Наибольший экономический эффект освоения сырьевой базы комбината можно получить лишь в том случае, когда производительность устанавливается не для каждого карьера в отдельности, а совокупно для их группы входящей в систему комбината.

С целью регулирования интенсивности отработки месторождений комбината при изменении потребности в товарной продукции необходимо в первую очередь определить максимальную производительность по горным возможностям каждого карьера [12], а также по экономическим возможностям, т.е. по наличию инвестиций для увеличения мощности.

Работу методики рассмотрим на примере группы карьеров СевГОКа: Первомайский и Анновский карьеры, которые добывают железистые кварциты для их переработки в железорудный концентрат. Учитывая горные и экономические возможности комбината, а также потребность в

железородном концентрате на внешнем и внутреннем рынке, проектными институтами в 2008 году совместно с комбинатом была установлена стратегия добычи руды на ближайшие 30 лет:

для Первомайского карьера – 23-30 млн. т/год;

для Анновского карьера – 10-15 млн. т/год.

Объемы вскрышных работ, обеспечивающие достижение этой производительности составляют:

для Первомайского карьера – 17,71-21,6 млн. м³/год ($n=0,76-0,78$ м³/т);

для Анновского карьера – 15,8-16,5 млн. м³/год ($n=1,55-1,57$ м³/т).

Сравнительную оценку вариантов целесообразно производить, используя в качестве критерия оценки максимум чистой современной стоимости денежных потоков

$$\begin{aligned} & \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \left(\frac{\sum_{j=1}^J (A_{p\ tkij} \cdot \gamma_{\kappa\ tkij} \frac{\beta_{(tkij)}}{\beta_{(tkj)}} u_{tk}) - c_{\Pi\ tki}^{y.nep.} \cdot \sum_{j=1}^J (A_{p\ tkij} \cdot \gamma_{\kappa\ tkij}) - 3\Phi_{tki}^{y.nocm.}}{(1+E)^t} - \right. \\ & \left. - \frac{\sum_{j=1}^J ((a_{o(tkij)}^{y.nep.} + n_{ij} \cdot b_{(tkij)}^{y.nep.}) \cdot A_{p\ tkij} + 3K_{tkij}^{y.nocm.} + 3j^{nep})}{(1+E)^t} \right) \times (1-N) - \\ & - \sum_{t=1}^T \frac{(\Delta V_{отсм(tij)}^{возм} + \Delta Q_{зм(tij)}) k_{yв} + K_t}{(1+E)^t} \rightarrow \max. \end{aligned} \quad (1)$$

Изменение в потребности железородного концентрата может измениться. Поэтому от достигнутого уровня добычи руды на Анновском и Первомайском карьерах исследовали изменение показателя (1) в случае вынужденного изменения объемов производства концентрата в ту или другую стороны. С этой целью для каждого варианта производительности карьера по руде в пределах области возможных вариантов, определяются параметры системы разработки (ширина рабочей площадки и длина активного фронта горных работ, обеспечивающие нормативный запас руды готовый к выемке [13]), от которых зависят коэффициенты вскрыши. Наряду с этим, первоначально был рассмотрен вопрос достижения заданного уровня производительности по руде с учетом сложившегося состояния горных работ в карьерах [14] (по состоянию на 01.01.2014г), а также изменение режима горных работ в зависимости от изменения производительности по руде [15]. Результаты расчетов представлены в таблице. Кроме этого результаты расчетов представлены графически на рис. 1.

Точки В и Г на этом рисунке характеризуют технологические и экономические показатели работы карьеров с производительностью по руде, установленной стратегией развития комбината на 01.01.2014г:

для Первомайского карьера – $A_{\Pi} = 23$ млн. м³/год, $n_{\Pi}=0,72$ м³/т, $\gamma_{\Pi}=0,42$;

для Анновского карьера – $A_A = 10$ млн. м³/год, $n_A=1,83$ м³/т, $\gamma_A=0,39$.

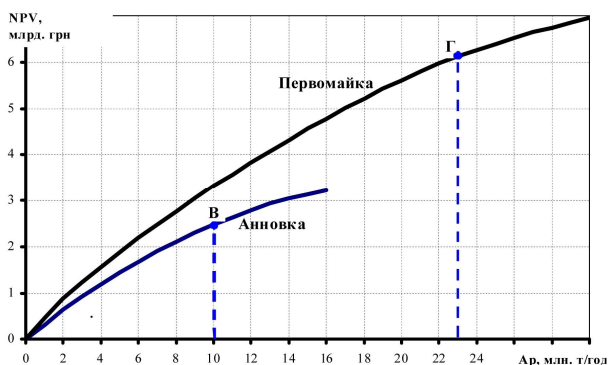


Рис. 1. Изменение чистой современной стоимости денежных потоков (NPV) в зависимости от изменения потребности в руде карьеров СевГЭК

Анализ рис. 1 показывает, что с увеличением производительности, как Первомайского, так и Анновского карьеров, несмотря на увеличение коэффициентов вскрыши, растет прибыль от производства концентрата. Наклон кривых показывает, что чем больше угол наклона, тем больше комбинат получит прибыли от одинакового увеличения производительности карьера. Наклон линий 1 и 2 изменяется в зависимости от значения производительности. Это значит, что одинаковый прирост производительности по руде Анновского и Первомайского карьеров обеспечат неодинаковый прирост чистого денежного потока комбината. При этом на прирост чистого денежного потока комбината будет влиять уровень производительности на оцениваемый момент времени.

Исходные данные и результаты расчетов доходов Северного ГОКа

Показатели	Первомайский карьер					Анновский карьер				
	A_{p1}	A_{p2}	$A_{p,стр}$	A_{p4}	A_{p5}	A_{p1}	A_{p2}	$A_{p,стр}$	A_{p4}	A_{p5}
Объем добычи руды, млн. т/год (A_p)	21	22	23	24	25	8	9	10	11	12
Выход концентрата, доли ед.(γ)	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Объем производства концентрата, млн. т/год (A_k)	8,8	9,2	9,7	10,1	10,5	3	3,4	3,8	4,2	4,6
Коэффициент вскрыши, м ³ /т	0,65	0,69	0,72	0,75	0,81	1,65	1,71	1,83	1,95	2,06
Годовая чистая современная стоимость денежных потоков, млрд., грн (NPV)	4,41	4,57	4,74	4,91	5,02	1,1	1,21	1,28	1,34	1,4

Для наглядности графически представим зависимость прироста чистой современной стоимости денежных потоков (NPV) от прироста производительности (ΔA_p) Анновского (2) и Первомайского (1) карьеров (рис. 2).

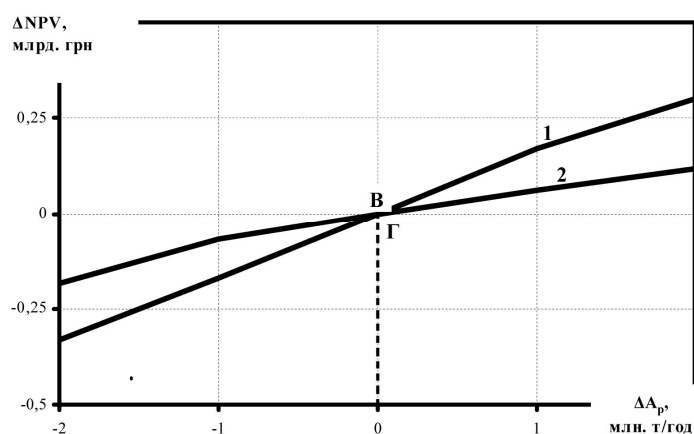


Рис. 2. Изменение годовой чистой современной стоимости денежных потоков ΔNPV в зависимости от изменения производительности A_p карьеров по руде: 1 – Первомайского; 2 – Анновского

Из рис. 2 видно, что при данном варианте сочетания производительностей Первомайского и Анновского карьеров увеличение производительности Первомайского карьера обеспечит большую экономическую эффективность освоения сырьевой базы комбината по сравнению с аналогичным увеличением производи-

сти на Анновском карьере.

Прирост производительности Первомайского карьера на 1 млн. т/год приведет к увеличению прироста чистого денежного потока на 200%, по сравнению с приростом этого показателя в Анновском карьере. В то же время потери чистого денежного потока при уменьшении производительности карьера по руде на 1 млн. т/год в Первомайском карьере также будут больше. Поэтому в случае рассмотрения вопроса об уменьшении проектной производительности комбината по сырой руде (менее 33 млн. т/год), в первую очередь необходимо уменьшать производительность Анновского карьера. А в случае увеличения проектной производительности комбината по сырой руде (более 33 млн. т/год), необходимо увеличивать производительность Первомайского карьера до размеров максимально возможной по горным условиям, а затем, если этого будет недостаточно, увеличивать производительность Анновского карьера.

В случае перераспределения производительности карьеров по руде без изменения общей стратегии производства товарной продукции необходимо учитывать то, что изменение чистой современной стоимости денежных потоков происходит неравномерно изменению производительности по руде: чистый денежного потока изменяется в меньшей степени при увеличении производительности карьера по руде, чем при ее уменьшении.

При увеличении производительности по руде Первомайского карьера на 1 млн. т/год прирост чистого денежного потока составит 155 млн. грн. При этом снижение производительности по руде Анновского карьера на 1 млн. т/год приведет к потере чистого денежного потока на данном карьере на 51 млн. грн. Разница между приростом и потерями чистого денежного потока за счет перераспределения объемов добычи руды на 1 млн. т/год в целом по комбинату составит - 177%; на 2 млн. т/год составит - 63%; на 3 млн. т/год составит - 19%.

Из выше сказанного следует, что проектную производительность комбината по сырой руде в размере 33 млн. т/год лучше всего выполнить за счет увеличения производительности Первомайского карьера на 1 млн. т/год и снижения производительности по руде на ту же величину на Анновском карьере. Тогда объемы добычи руды по карьерам распределяться следующим обра-

зом: Первомайский карьер – 24 млн. т/год, Анновский карьер – 9 млн. т/год. В этом случае только перераспределение производительности карьеров по руде без изменения общей стратегии производства товарной продукции увеличит чистый годовой доход комбината.

Сравнение показателей оптимальной производительности группы карьеров СевГОКа (на 01.01 2014 г) с проектной показало, что за счет перераспределения годовых объемов добычи руды в оптимальном режиме можно увеличить эффективность работы комбината.

Аналогичным образом производится перераспределение производительности группы горно-обогатительных комбинатов входящих в состав горнодобывающей компании.

Выводы. Разработана методика перераспределения производительности группы карьеров, входящих в состав горно-обогатительного комбината при изменении потребности в железорудной продукции, которая учитывает взаимосвязь режима горных работ и производительности по руде, исходя из условия обеспечения норматива готовых к выемке запасов.

На примере Анновского и Первомайского карьеров, входящих в состав Северного ГОКа, было выполнено перераспределение производительности по руде без изменения общей стратегии производства товарной продукции комбината. Расчеты показали, что перераспределение производительности по руде между Первомайским и Анновским карьерами только на 1 млн. т/год в сторону Первомайского карьера позволит увеличить прибыль комбината СевГОК на 96 млн. грн.

Список литературы

1. **Романенко А.В.** Обзор и анализ проектных решений по технологии открытых горных работ на глееватском карьере ПАО «ЦГОК» / **А.В. Романенко, А.Е.Биленко, В.В.Терещенко, В.Г.Пшеничный** // Гірничий вісник КНУ: збірник наук. праць, Вип. 95 (1). - Кривий Ріг, 2012.- С.25-31.
2. **Близнюков В.Г.** Improvement of technical criteria for comparative evaluation of mining operation options of iron ore open pits / **В.Г. Близнюков, С.А. Луценко** // Науковий вісник НГУ. – Д.:ДВНЗ «НГУ», 2017. - №1. С. 44-49.
3. **Луценко С. А.** Исследование режима горных работ, обеспечивающего достижение максимально возможной производительности карьера по руде / **С.А. Луценко** // Вісник НТУУ "КПІ". – Київ. – 2017. - Вип. 34. – С34-40.
4. **Lutsenko. A. Sergey.** Open pits productivity control along with iron ore products demand variation / *Quality – Access to Success.* – 2017. – vol. 18(S1) – С. 226-230.
5. **Арсентьев А.И.** Стратегия и тактика проектирования открытых горных работ / **А.И. Арсентьев** // Горный журнал, №11.- Москва, 2008. - С.54-58.
6. **Косолапов А.И.** О возможности управления производственной мощностью карьеров при вариации спроса на их продукцию при разработке крутопадающих месторождений / **А.И. Косолапов, А.И.Пташник** // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, №6. – Красноярск, 2011.- С. 33-36.
7. **Ржевский В.В.** Научные основы проектирования карьеров / **В.В.Ржевский, М.Г.Новожилов, Б.П.Юматов.** – М.: Недра, 1971.– 600 с.
8. **Арсентьев А.И.** Производительность карьеров / **А.И.Арсентьев.** – Санкт-Петербургский горный институт. СПб, 2002.– 85 с.
9. **Шпанский О.В.** Проектирование производственной мощности карьеров: Учеб. пособие / **О.В.Шпанский, Д.Н.Лигоцкий, Д.В.Борисов.** – Санкт–Петербургский государственный горный институт. СПб, 2004. – 96 с.
10. **Близнюков В.Г.** Определение максимальной производительности карьера при установленном режиме горных работ / **В.Г. Близнюков** // Разработка рудных месторождений . – Киев: Изд. «Техніка». - 1975. – Вып. 19. – С. 11-18.
11. **Мельников Н.В.** Вопросы выбора производственной мощности карьера / **Н.В.Мельников, К.Е.Виницкий, В.С.Меньшов, Э.И.Реентович.** - Москва: «Наука», 1971. - с.166.
12. **Луценко С.А.** Разработка метода определения максимальной, по горным возможностям, производительности карьера по руде / **С.А. Луценко** // Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2017. - №130. С. 168-175.
13. **Луценко С. А.** Определение ширины рабочей площадки и длины фронта горных работ при изменении производительности карьера по руде / **С.А. Луценко** // Збірник наукових праць НГУ. - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2017. - №50. С. 63-69.
14. **Близнюков В.Г.** Технологический критерий комплексной оценки режима горных работ и производительности карьера по руде / **В.Г. Близнюков, С.А. Луценко, Ю.М. Навитний, И.В. Баранов, О.Ю. Близнюкова** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2013 – С. 268-271.
15. **Вилкул Ю.Г.** О проблеме отставания вскрышных работ в железорудных карьерах / **Ю.Г.Вилкул, С.А. Луценко, О.Ю. Близнюкова** // Металлургическая и горнорудная промышленность, №3. – 2013 – С. 92-96.

Рукопис подано до редакції 25.04.2018

**СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ФАКТІВ ЯК ЗАСІБ РЕПРЕЗЕНТАЦІЇ
ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ**

Метою статті є виклад результатів розробки формальної структурно-логічної моделі фактів як однієї з форм подання знань в системах штучного інтелекту. В роботі розглядається використання форм подання професійних знань для автоматизації прийняття управлінських рішень в нормальних і кризових ситуаціях в енергосистемах. Здійснюється обґрунтування використання формально-лінгвістичного підходу до подання знань у вигляді фактів в системах підтримки рішень при зазначенні характеристик електротехнічного обладнання енергосистем. Структурно-логічна модель, яка пропонується, може використовуватися при реалізації логічного висновку. Теоретична розробка і практичне впровадження моделі фактів як засобу репрезентації характеристик компонентів електроенергетичних систем в системах підтримки рішень є актуальною науковою проблемою.

У роботі використані **методи** теорії множин, математичної логіки, формальної лінгвістики, електроенергетичних систем, теорії графів, математичної статистики.

Наукова новизна полягає у новій моделі подання професійних знань у вигляді фактів, яка спирається на еволюційне наслідування онтології подання знань як атомарних висловлювань. Це дає можливість їх ієрархічного узагальнення, застосування єдиних евристик до різних структур представлення знань. Розроблені моделі, підходи і методики інваріантні по відношенню до професійних галузей і мають високий ступінь універсальності. Запропоновано єдиний системно-діалектичний підхід до подання та аналізу знань. Розроблено єдині евристики стосовно як до окремих компонентів знань, так і їх мережевих структур.

Практична значимість роботи полягає у вдосконаленні автоматизації керування промисловими об'єктами шляхом впровадження запропонованої моделі подання знань у вигляді фактів в практику побудови баз знань при ліквідації кризових ситуацій в електроенергетичних системах. Ця обставина дозволить скоротити збитки і підвищити якість управління обладнанням і технологічними процесами промислових об'єктів.

Результатами роботи є єдиний системно-діалектичний підхід до інкорпорації подання професійних знань. Запропонована структурно-логічна модель фактів як засіб репрезентації характеристик компонентів електроенергетичних систем, яка являє собою структурну компоненту загальної ієрархічної системи подання професійних знань. Розроблена формальна модель подання фактів на рівні графів і рівні формального мови. Створена формальна модель онтології, яка регламентує механізм побудови баз знань декларативного характеру. Показано приклад практичного професійного застосування розроблених математичних моделей.

Ключові слова: енергосистема, формальна лінгвістика, факт, онтологія, евристика, база знань, інкорпорація

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-136-141

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Керування великими промисловими об'єктами, якими є електроенергетичні системи, пов'язане з обробкою великої кількості оперативної інформації. У зв'язку зі значними витратами часу на обробку даних значно ускладнюється подання в інформаційних системах (АСДУ) характеристик компонентів електроенергетичного обладнання.

В останні роки досягнуто суттєвих результатів у розвитку методів інтелектуалізації управління і евристичного аналізу станів обладнання і режимів енергосистем. Основними теоретичними платформами є методи систем штучного інтелекту, теорії розпізнавання образів, планування експериментів, формальних систем і числень. Ідея спільного рішення проблеми забезпечення режиму енергосистеми полягає в тому, що основна маса вихідної схемно-режимної інформації обробляється попередньо, а оперативні дії, що управляють, визначаються за допомогою відносно простих швидких алгоритмів на основі даних про параметри обладнання і електричних мереж.

Таким чином, є актуальною проблема обробки значних об'ємів інформації о параметрах і станах обладнання енергосистем. Однією з ефективних форм представлення структурної семантики при описі обладнання є факти. Тому важливим завданням є розробка структурно-логічної моделі фактів як засобу репрезентації характеристик компонентів електроенергетичних систем. Вирішення цієї проблеми безпосередньо має зв'язок з науковими і практичними завданнями розпізнавання аварійної ситуації та її класифікації, визначення місць докладання управлінських впливів, визначення дозування диспетчерських впливів.

Аналіз досліджень і публікацій. Під фактами, як формами подання знань, в різних науко-

вих і практичних роботах з штучного інтелекту маються на увазі структурні формальні подання [1]. У деяких роботах факти виступають синонімами висловлювань, а в інших - мають деякі складові або предикативні форми [2 - 4]. Значенням факту в більшості контекстів є або брехня, або істина. Факти, як форми організації інформації, характерні для баз даних і мережевих моделей. Вони можуть розглядатися в якості декларативного компонента бази знань, на відміну від процедурного компонента – евристик [5, 6].

У загальному випадку, в більшості робіт приймається, що факт є деякий запис, який, в залежності від контексту, може розглядатися або як цілісний концепт, або як структура. Як приклад факту можна навести структуру семантичного триплета: об'єкт - атрибут – значення [1]. По відношенню до фактів можуть бути реалізовані процедури порівняння цілком, часткового порівняння, перевірки на істинність і інші [7]. Факти дозволяють описувати найпростіші структури і їх властивості. В [1] наведені приклади опису фактів у вигляді предикативних форм або у вигляді логічних правильно побудованих формул, що включають квантори спільності та існування.

Постановка завдання. В роботі розглядається проблема подання знань в системах підтримки рішень при управлінні режимами електроенергетичних систем. В області зазначеної проблеми важливим питанням є подання інформації про структуру і властивості електротехнічного обладнання. Такі дані можуть формуватися по-різному. Одним з найбільш практично значимих формалізмів є факти. Вони дозволяють адекватно представляти структуру фізичних об'єктів енергосистем практично необмеженої складності і їх властивості. Тому завданням дослідження є розробка формальної структурно-логічної моделі подання фактів в рамках загальної формальної системи подання знань в системі підтримки рішень.

Викладення матеріалу та результати. Введемо правило формування елементарного факту: елементарний факт f – це триплет атомарних висловлювань, що розглядається як ізольований оргграф при будь-яких операціях в рамках діючої формальної системи.

При інтерпретації фактів кожне атомарне висловлювання розглядається як одна лінгвістична константа або значення лінгвістичної змінної при будь-яких операціях в рамках діючої формальної системи.

Під активізацією або актуалізацією факту будемо розуміти внесення факту (або його ідентифікатора) в контрольовану область пам'яті («дошку оголошень») для його участі в операціях інтелектуальної системи.

Для отримання фактів необхідно утворити трійки пов'язаних атомарних висловлювань і розглядати їх як атомарних висловлювань поточного шару репрезентації фактів. Таким чином, необхідно спочатку сформулювати елементарну атомарному онтологію одного факту, на основі якої потім побудувати онтологію бази фактів в цілому. Визначимо множини концептів для моделі елементарного факту. Основний кінцевий термінальний алфавіт символів атомарних висловлювань було визначено в такий спосіб

$$\Sigma = A_l = \{\varepsilon\} \cup A_l \cup A_d \cup A_s \cup A_p \cup A_{sl} \cup A_{ab}, \quad (1)$$

де $A_l \cup A_d \cup A_s \cup A_p \cup A_{sl} \cup A_{ab}$ – множини символів специфічних професійних алфавітів.

При побудові фактів необхідно користуватися тільки атомарними висловлюваннями, побудованими на даному алфавіті (наприклад, для c_i -го контексту

$$S^{c_j} = \{s_k^{c_j} \mid k = 1, n_s\}, \quad (2)$$

де n_s – кількість атомарних висловлювань c_j -го контексту.

Графічно модель елементарного факту f_i для контексту c_j представимо як оргграф (далі - граф) наступного вигляду (рис. 1).

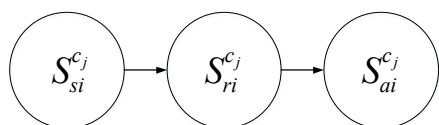


Рис. 1. Графічна модель факту f_i

На рисунку позначені: S_{si} – атомарне висловлювання - джерело відносини, S_{ri} – атомарне висловлювання - відношення, S_{ai} – атомарне висловлювання - приймач відносини.

Іншими словами, представимо факт кортежем (3)

$$f_i^{c_j} = \langle S_{si}^{c_j}, S_{ri}^{c_j}, S_{ai}^{c_j} \rangle \quad (3)$$

або в теоретико-множинній інтерпретації

$$f_i^{c_j} = \{S_{si}^{c_j}, S_{ri}^{c_j}, S_{ai}^{c_j}\}.$$

Підмножина фактів F^{c_j} , які відносяться до контексту c_j , загальної множини фактів F буде представлено в такий спосіб

$$f_i^{c_j} \in F^{c_j}, F^{c_j} \subseteq F. \quad (4)$$

Причому $f_i^{c_j} = \{s_{si}^{c_j}, s_{ri}^{c_j}, s_{ai}^{c_j}\}$, де $s_{si}^{c_j} \in S^0, s_{ri}^{c_j} \in S^0, s_{ai}^{c_j} \in S^0$.

На основі заданої теоретико-множинної моделі елементарного факту формалізуємо його графову модель [8-10].

Елементарний факт f_i в загальному вигляді можна представити графом

$$G_i^f = \{V(G)_i^f, A(G)_i^f\}, \quad (5)$$

де $V(G)_i^f = f_i^{c_j}$ – множина атомарних висловлювань, що утворюють факт, $f_i^{c_j} = \{s_{si}^{c_j}, s_{ri}^{c_j}, s_{ai}^{c_j}\}$, $|V(G)_i^f| = 3$; $A(G)_i^f$ – множина дуг (зв'язків) факту, $|A(G)_i^f| = 2$.

Крім того, введемо для факту особисту інтерпретацію проходження вершин, яка залежить від умов завдання i , в загальному випадку, може бути довільною [8]:

$$I^f = (P_s^f, P_e^f), \quad (6)$$

де P_s^f – інцидентор стартових висловлювань дуг фактів $P_s^f(s_{si}^{c_j}, s_{ri}^{c_j}) = s_{si}^{c_j}$ і $P_s^f(s_{ri}^{c_j}, s_{ai}^{c_j}) = s_{ri}^{c_j}$; P_e^f – інцидентор кінцевих висловлювань дуг фактів $P_e^f(s_{si}^{c_j}, s_{ri}^{c_j}) = s_{ri}^{c_j}$ і $P_e^f(s_{ri}^{c_j}, s_{ai}^{c_j}) = s_{ai}^{c_j}$.

Тепер можна дати загальну формальну модель графа елементарного факту (7)

$$G_i^f = \{V(G)_i^f, A(G)_i^f, I^f\}, G_i^f = \{V(G)_i^f, A(G)_i^f, P_s^f, P_e^f\}. \quad (7)$$

Так як інтерпретація семантики фактів залежить від контексту, то при формуванні формальної мови необхідний облік груп (класів) контекстів. Визначимо множину контекстів для інтерпретації фактів

$$C^f = \{c_i \mid i = 1, n_c\}, \quad (8)$$

де n_c – кількість контекстів (предметних областей).

Множина класів контекстів

$$G^{fc_i} = \{g_m^{fc_i} \mid m = 1, n_g\},$$

де n_g – кількість класів контекстів.

Тоді підмножина елементарних фактів бази знань інтелектуальної системи, пов'язаних з c_i -м контекстом

$$F^{c_i} = \{f_k^{c_i} \mid k = 1, n_f\}, F^{c_i} \subset F,$$

де n_f – кількість елементарних фактів, пов'язаних з c_i -м контекстом.

З огляду на класифікацію фактів на підмножини F^{c_i} , за ознаками (контекстами) $g_m^{fc_i}$ можливо записати

$$F^{c_i} = \{\{F_{1g_m^{c_i}}^{c_i}\}, \{F_{2g_m^{c_i}}^{c_i}\}, \dots, \{F_{mg_m^{c_i}}^{c_i}\}, \dots, \{F_{n_g g_m^{c_i}}^{c_i}\}\}, \quad (9)$$

де $\{F_{mg_m^{c_i}}^{c_i}\}$ – клас фактів, що відповідають класифікаційній ознаці $g_m^{c_i}$.

Якщо прийняти, що всі елементарні факти не мають дублікатів, то властивості шару елементарних фактів БЗ повинні бути наступними

$$F^{c_i} = F_{1g_m^{c_i}}^{c_i} \cup F_{2g_m^{c_i}}^{c_i} \cup \dots \cup F_{mg_m^{c_i}}^{c_i} \cup \dots \cup F_{n_g g_m^{c_i}}^{c_i} = \bigcup_{m=1}^{n_g} F_{mg_m^{c_i}}^{c_i}, \quad (10)$$

$$F_{1g_m^{c_i}}^{c_i} \cap F_{2g_m^{c_i}}^{c_i} \cap \dots \cap F_{mg_m^{c_i}}^{c_i} \cap \dots \cap F_{n_g g_m^{c_i}}^{c_i} = \bigcap_{m=1}^{n_g} F_{mg_m^{c_i}}^{c_i} = \emptyset, \quad (11)$$

$$\forall F_{mg_m^{c_i}}^{c_i} (F_{mg_m^{c_i}}^{c_i} \subseteq F^{c_i}), \quad \forall F_{pg_m^{c_i}}^{c_i} \forall F_{qg_m^{c_i}}^{c_i} (F_{pg_m^{c_i}}^{c_i} \neq F_{qg_m^{c_i}}^{c_i}). \quad (12)$$

Зазначимо синтаксис елементарного факту:

<факт> ::= < вислів > < вислів > < вислів >;
 <вислів> ::= <лексема > | < вислів > <лексема>.

Визначимо формальну мову моделі подання елементарних фактів. Врахуємо, що формальна мова фактів відповідає конкретній предметній області, тобто належить деякому з класів фактів G^{c_i} в поточному контексті –

$$\forall F_k^{c_i}, k=1, n_f \left(\bigvee_{m=1}^{n_g} f_k^{c_i} \in F_m^{c_i} g_m^{c_i} \right). \quad (13)$$

Мова елементарних фактів для предметної області $c_i \in C$ і деякого m -го класу $g_m^{c_i}$ визначимо наступним чином [11, 12]

$$L(G)^{f_{c_i} g_m^{c_i}} = \langle \Sigma^f, N^f, P^f, S^f \rangle, \quad (14)$$

де G – формальна граматики на фактах; Σ^f – основний кінцевий термінальний алфавіт фактів; N^f – допоміжний кінцевий нетермінальний алфавіт; P^f – правила підстановки (продукції) формальної граматики на фактах: $\exists a, \exists b, (a, b) \in P : a \rightarrow b$; S – стартовий нетермінальний символ граматики G на фактах; $N^f \cap \Sigma^f = \emptyset$ і $P \subset ((N^f \cup \Sigma^f)^+ \times (N^f \cup \Sigma^f)^*)$.

Узагальнимо мову фактів на всі класи контекстів бази знань на фактах.

$$L(G)^f = \langle \Sigma^f, N^f, P^f, S^f \rangle, \quad (15)$$

де $\Sigma^f = F = \{f_k \mid k=1, n_f\}$ – всі факти шару фактів БЗ;
 $F = \{\{F_{1g_m^{c_0}}\}, \{F_{2g_m^{c_0}}\}, \dots, \{F_{mg_m^{c_0}}\}, \dots, \{F_{n_g g_m^{c_0}}\}\}$; $N^f = \{\text{факт}, \text{клас_фактів}, \text{шар_фактів}\}$;
 $S^f = \langle \text{шар_фактів} \rangle$.

Розробимо структурно-лінгвістичну модель онтології для шару БЗ елементів-тарних фактів – KB_F . Використовуємо узагальнену формулу [13 - 15]

$$O_{KB_F} = \langle X^f, R^f, F^f \rangle. \quad (16)$$

Тоді для фактів, що відносяться до безпідставного контексту, матимемо

$$X^f = F = \{f_k \mid k=1, n_f\} = \{\{s_{sk}, s_{rk}, s_{ak}\} \mid k=1, n_f\};$$

$$X^f = \{f_k \mid k=1, n_f\} = \{\{s_{sk}, s_{rk}, s_{ak}\} \mid k=1, n_f\}.$$

Так як для даного шару БЗ відносини між фактами відсутні (тобто - факти використовуються ізольовано один від одного), то $R = \emptyset$. Для визначення множини функцій інтерпретації F_f будемо припускати, що частина фактів може використовуватися для інтерпретації інших фактів поточного шару. В цьому випадку факти можна розділити на ситуаційні групи - класи - підмножина інтерпретованих фактів (з індексом 1) і підмножина фактів, що інтерпретує (з індексом 2), як наведено в виразі (17)

$$F = \{\{F_1\}, \{F_2\}\}, \quad (17)$$

де $F_1 \cup F_2 = F$ – все множество фактов, $F_1 \cap F_2 = \emptyset$.

$$\text{Тоді } \exists (f_{1i} \in F_1), \exists (f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2k} \in F_2) (f_{1i}^{c_0} = f^f(f_{21}^{c_0}, f_{22}^{c_0}, \dots, f_{2k}^{c_0}), f^f \in F^f). \quad (18)$$

Функція інтерпретації матиме вигляд

$$f_j : Op(\{(f_{2j}, I_j)\}) \rightarrow (f_{1j}, I_j), \quad (19)$$

де Op – операція агрегації фактів, наприклад, - перерахування з упорядкуванням, вибір найбільш ймовірного, вибір найбільш значимого, вибір самого нового, логічне зв'язування, логічне слідування і т.ін.

На основі розроблених теоретико-множинних моделей отримана формальна модель уніфікованої онтології фактів типу «активний словник» з наступною узагальненою структурою

$$O_{KB_F} = \langle \bigcup_{j=1}^N [F_{1j} \cup F_{2j}], \emptyset, \{F^f\} \rangle. \quad (20)$$

Наведемо приклад практичного використання розроблених математичних моделей подання фактів і моделі професійної онтології шару фактів бази знань.

Факти відносяться до декларативних семантичних форм подання професійних знань, тому з їх допомогою описують структурні компоненти задачі. Розроблені математичні моделі інваріантні по відношенню до предметних напрямків. У якості прикладу професійної сфери виберемо опис електротехнічного обладнання. Введемо множини висловлювань, які умовно відносяться до одного контексту c^0

$s_1^{c_0}$ = «лінія»; $s_2^{c_0}$ = «належить до класу номінальних напруг»; $s_3^{c_0}$ = «110 кВ»; $s_4^{c_0}$ = «клас номінальної напруги»; $s_5^{c_0}$ = «має величину»; $s_6^{c_0}$ = «6 - 10 кВ»; $s_7^{c_0}$ = «35 кВ»; $s_8^{c_0}$ = «трансформатор»; $s_9^{c_0}$ = «має кількість обмоток»; $s_{10}^{c_0}$ = «2»; $s_{11}^{c_0}$ = «обмотка трансформатора»; $s_{12}^{c_0}$ = «має матеріал виготовлення»; $s_{13}^{c_0}$ = «мідь»; $s_{14}^{c_0}$ = «має тип охолодження»; $s_{15}^{c_0}$ = «масло»; $s_{16}^{c_0}$ = «повітря».

Введемо безлічі фактів із зазначенням індексу релевантності $F^{c_0} = \{[F_1^{c_0}], [F_2^{c_0}]\}$.

Побудуємо множини фактів $F = \{f_1, f_2, \dots, f_8\}$, де $f_1 = (s_1^{c_0}, s_2^{c_0}, s_3^{c_0}, 1)$; $f_2 = (s_4^{c_0}, s_5^{c_0}, s_3^{c_0}, 1)$; $f_3 = (s_4^{c_0}, s_5^{c_0}, s_6^{c_0}, 1)$; $f_4 = (s_4^{c_0}, s_5^{c_0}, s_7^{c_0}, 1)$; $f_5 = (s_8^{c_0}, s_9^{c_0}, s_{10}^{c_0}, 2)$; $f_6 = (s_{11}^{c_0}, s_{12}^{c_0}, s_{13}^{c_0}, 2)$; $f_7 = (s_{11}^{c_0}, s_{14}^{c_0}, s_{15}^{c_0}, 2)$; $f_8 = (s_{11}^{c_0}, s_{14}^{c_0}, s_{16}^{c_0}, 2)$. Тут $F_1 = \{f_1, f_5\}$, $F_2 = \{f_2, f_3, f_4, f_6, f_7, f_8\}$.

Тоді можуть існувати такі функції інтерпретації

$$f_1^f : Op(\{(f_2^{c_0}, 1), (f_3^{c_0}, 1), (f_4^{c_0}, 1)\}) \rightarrow (f_1^{c_0}, 1);$$

$$f_2^f : Op(\{(f_6^{c_0}, 2), (f_7^{c_0}, 2), (f_8^{c_0}, 2)\}) \rightarrow (f_5^{c_0}, 2).$$

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином, теоретично обґрунтована і практично побудована структурно-лінгвістична модель уніфікованої професійної онтології елементарних фактів згідно з прийнятою концепцією. Застосований математичний апарат є інваріантні по відношенню до професійних галузях і дозволяє одноманітно будувати і керувати відомостями бази знань. У подальших дослідженнях планується об'єднання різних форм представлення знань і уніфікація механізмів їх обчислень.

Список літератури

1. Уэно Х., Исидзука М. Представление и использование знаний: Пер. с япон. / Под ред. Х. Уэно, М. Исидзука – М.: Мир – 1989 – 220 с.
2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер – 2000 – 384 с.
3. Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта: Пер. с франц. – М.: Мир – 1991 – 568 с.
4. Любарский Ю.Я. Интеллектуальные информационные системы – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.– 1990 – 232 с.
5. Ракитина М.С., Грезина М.А., Колчина О.А. Интеграция методов системного анализа в исследовании и построении информационных систем поддержки принятия и обоснования решений // Известия ЮФУ. Технические науки – 2013 – № 6 (143) – С. 132 – 138
6. Бохуа Н.К., Геловани В.А., Ковригин О.В. Экспертные системы: опыт проектирования – М.: МНИИПУ – 1990 – 348 с.
7. Искусственный интеллект: Справочник в 3 кн. Кн. 2. Модели и методы / Под ред. Д.А. Поспелова – М.: Радио и связь – 1990 – 304 с.
8. Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение – СПб.: БХВ-Петербург – 2003 – 1104 с.
9. Берж К. Теория графов и ее применения: Пер. с фран. / Под ред. И.А. Вайнштейна — М.: Изд-во иностр. лит. – 1962 – 320 с.
10. Татт У. Теория графов: Пер. с англ. – М.: Мир – 1988 – 424 с.
11. Пентус А. Е., Пентус М. Р. Теория формальных языков: Учебное пособие – М.: Изд-во ЦПИ при механико-математическом ф-те МГУ – 2004 – 80 с.
12. Коротков М.А., Степанов Е.О. Основы формальных логических языков – СПб.: СПб ГИТМО (ТУ) – 2003 – 84 с.
13. Гаврилова Т.А. Формирование прикладных онтологий // Труды XX нац. конф. по ИИ – КИИ-2006 – М.: Физматлит – 2006 – Т.2 – 7 с.
14. Fernandez M. METHONTOLOGY: From Ontological Art Toward Ontological Engineering / M. Fernandez, A.

Рукопис подано до редакції 13.04.2018

УДК 624.195

Р.А. ТИМЧЕНКО, С.О. ПОПОВ, доктора техн. наук, профессора,
Д.А. КРИШКО, канд. техн. наук, ст. препод., С.О. МАЦЫШИН, ассистент
Криворожский национальный университет

ЗАЩИТНЫЙ ЭКРАН ИЗ ТРУБ ДЛЯ ТОННЕЛЕЙ В ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКЕ

Цель. Разработка защитного экрана из труб с линейно-подвижным соединением для сложных инженерно-геологических условий. В комплексе городских подземных сооружений особое место занимают тоннельные системы, к которым относятся транспортные тоннели, пешеходные тоннели, подземные многоярусные автостоянки и гаражи, коллекторные тоннели и др. Особой сложностью отличается строительство подземных тоннельных систем, расположенных в сложных инженерно-геологических и горно-геологических условиях, на подрабатываемых территориях. Основными требованиями при строительстве подобных сооружений являются исключение просадки, деформации поверхности и минимальное влияние строительного процесса на повседневную работу городской инфраструктуры.

Методы исследования. Для реализации поставленной цели использованы такие общенаучные методы, как: сравнение, анализ, наблюдение.

Научная новизна. Определена методика расчета и конструктивные особенности защитного экрана из труб, назначение которого состоит в предупреждении и минимизации деформаций и просадок поверхности, расположенной над сводом тоннеля в период его проходки и крепления.

Практическая значимость. Использование защитного экрана из труб при строительстве тоннелей позволит решить ряд проблем – разгрузить транспортные магистрали и узлы их пересечения, ускорить движение всех видов транспорта и пешеходов, а также снизить загазованность городской атмосферы.

Результаты. Приведена область применения тоннелей, примеры их проектирования, технология и организация строительства различными способами в инженерно-геологических и транспортных условиях в различные годы. Рассмотрены разновидности тоннелей, а также факторы, осложняющие, с геомеханической точки зрения, строительство подземных сооружений на подрабатываемых территориях и в сложных инженерно-геологических условиях Кривого Рога. Защитный экран из труб при строительстве подземных сооружений не требует больших экономических затрат и остановки движения транспорта при строительстве подземных транспортных сооружений (автодорожных тоннелей, пешеходных переходов), позволяет разгрузить дорожное движение уличной сети и обезопасить пешеходов. Поэтому при строительстве тоннелей на застроенных городских территориях, а также при пересечении железнодорожных и автодорожных магистралей применяют защитные экраны, устраиваемые по технологии опережающей крепи.

Ключевые слова: тоннель, защитный экран из труб, подземные сооружения, строительство.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-141-147

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Проблемы развития крупных городов решаются в настоящее время с использованием третьего измерения, глубины грунтового массива. Подземная инфраструктура играет значительную роль в жизни современных городов. В комплексе городских подземных сооружений особое место занимают тоннельные системы, к которым относятся транспортные тоннели, пешеходные тоннели, подземные многоярусные автостоянки и гаражи, коллекторные тоннели и др. Особой сложностью отличается строительство подземных тоннельных систем, расположенных в сложных инженерно-геологических и горно-геологических условиях, на подрабатываемых территориях [1, 2].

Основными требованиями при строительстве подобных сооружений являются исключение просадки, деформации поверхности и минимальное влияние строительного процесса на повседневную работу городской инфраструктуры [3].

Выполненные ранее работы [4, 5] по разработке конструкций поперечного тоннеля имеют дальнейшее развитие в создании защитного экрана из труб на неравномерно-деформируемых основаниях.

Анализ исследований и публикаций. Тоннели начали строить в глубокой древности, пре-

имущественно для подачи воды, канализационных стоков и для воинских нужд. Первый горный железнодорожный тоннель длиной 1190 м был построен в 1826–1830 гг. в Англии. Один из древнейших в мире – Симплонский тоннель протяженностью 19,78 км, соединивший Италию со Швейцарией, был построен в 1898–1906 гг. Железнодорожные тоннели в Украине начали строить в 1859 году. За три года были построены двухсторонние тоннели длиной 427 и 1280 м на Петербург-Варшавской железной дороге. До конца XIX столетия проложено большое количество тоннелей на железных дорогах Кавказа, а также в Карпатском регионе. В начале XX века построены крупные тоннели на железных дорогах Николаев – Херсон, на Черноморской железной дороге, ряд тоннелей на востоке Украины и в Карпатах [6].

Железнодорожные тоннели строили различными способами в грунте с обкладыванием стен массивными камнями, защищающими движущиеся поезда от обвалов горных пород, позже начали использовать бетон и железобетон.

Во многих городах Украины эксплуатируются большое количество автотранспортных и пешеходных тоннелей. В Киеве насчитывается около 30 автотранспортных и более 350 пешеходных тоннелей.

Крупнейшими горными тоннелями за рубежом являются Лаердалхпиной длиной 24,5 км в Норвегии, два параллельных тоннеля длиной по 19,6 км через Тюрингский лес в Германии, Сен-Готардский тоннель длиной 16,3 км в Швейцарии.

Наиболее протяженные подводные автодорожные тоннели построены под Токийской бухтой в Японии (два тоннеля длиной по 10 км), под р. Эльбой в Германии (длина 3,1 км), тоннель Бэмлафиорд в Норвегии (длина 7,9 км).

Крупные городские тоннели общей протяженностью 11,3 км эксплуатируются в Бостоне (США), на автомагистрали А-86 под Парижем (Франция) длиной 10 и 7,5 км, на кольцевой 6-ти полосной магистрали в Стокгольме (Швеция) общей протяженностью 12 км.

Постановка задачи. Разработка защитного экрана из труб с линейно-подвижным соединением для сложных инженерно-геологических условий.

Изложение материала и результаты. Подземное хозяйство крупных городов состоит в основном из подземных коммуникаций различного назначения, вспомогательных сооружений, а также устройств для комплексного обслуживания городского населения и удовлетворения производственных потребностей промышленных предприятий.

Размещение сооружений в подземном пространстве городов может быть как вертикальным, так и горизонтальным, что определяется характером района города, возможным способом строительства сооружения, экономическими и другими факторами. В мировой практике градостроительства наблюдается тенденция объединения различных тоннелей в единые системы. Так, в Токио создана единая тоннельная конструкция, включающая станцию метрополитена, транспортный автотоннель и коллекторы городского хозяйства [7].

К подземным сооружениям больших городов относят следующие: подземные пешеходные переходы, транспортные тоннели, гидротехнические тоннели для русел рек, подземные гаражи и автостоянки, коммунальные тоннели и городские подземные сети.

Важную роль играют коллекторы: канализационные, водосточные, водомагистральные, теплофикационные и кабельные. Применяют коллекторы для электроснабжения, для связи, для радиосетей, а также общие коллекторы. В число подземных сооружений так же входят: квартальные подземные коммуникации, электроподстанции, подземные части вокзалов, небольшие бытовые помещения и предприятия торговли [8].

Тоннели – это протяженное подземное или подводное сооружение, предназначенное для пропускания через высотное или контурное препятствие транспортных средств, пешеходов, воды, инженерных коммуникаций или технологических линий [9].

Область применения и разновидности тоннелей настолько широки, что позволяют составить только их общую классификацию по назначению, месту расположения, глубине заложения и способу строительства (рис. 1).

Конструктивные и планировочные решения подземных сооружений определяются глубиной их заложения, инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями и способом строительства. В зависимости от глубины заложения от поверхности земли H различают тоннели глубокого ($H > 2 - 3 В$) и мелкого ($H < 2 - 3 В$) заложения, где $В$ – наибольший размер (про-

лет или высота) поперечного сечения тоннеля. Наряду с этим существуют также сверхглубокие тоннели, глубина которых составляет 30–40 м и больше от поверхности земли [10].

Строительство сооружений глубокого заложения осуществляется закрытыми горными способами, без вскрытия поверхности. Такие сооружения рассчитывают на горное давление окружающих пород.

Сооружения мелкого заложения возводят с полным или частичным вскрытием поверхности земли, а также под временным перекрытием. При этом применяют траншейные методы или закрытый способ. Эти сооружения работают под давлением от вышележащих грунтов, засыпки и нагрузки от транспорта и близко расположенных сооружений [11].

Сооружения, возводимые под землей в 1,5...2,0 раза дороже обычных, но они позволяют уменьшить площадь городской застройки и городских коммуникаций. Сокращение времени транспортных связей обеспечивает экономию времени при поездках на работу и обратно. Это следует принимать во внимание при экономических расчетах градостроительных вариантов.

При определении номенклатуры объектов, размещаемых в подземном пространстве, необходимо учитывать: целесообразность использования поверхности и подземного пространства, возможность размещения сооружений, обладающих технологическими особенностями, экономичность строительства и эксплуатации подземных объектов, геологическую и гидрогеологическую структуру подземного пространства, а также рельеф местности [12].

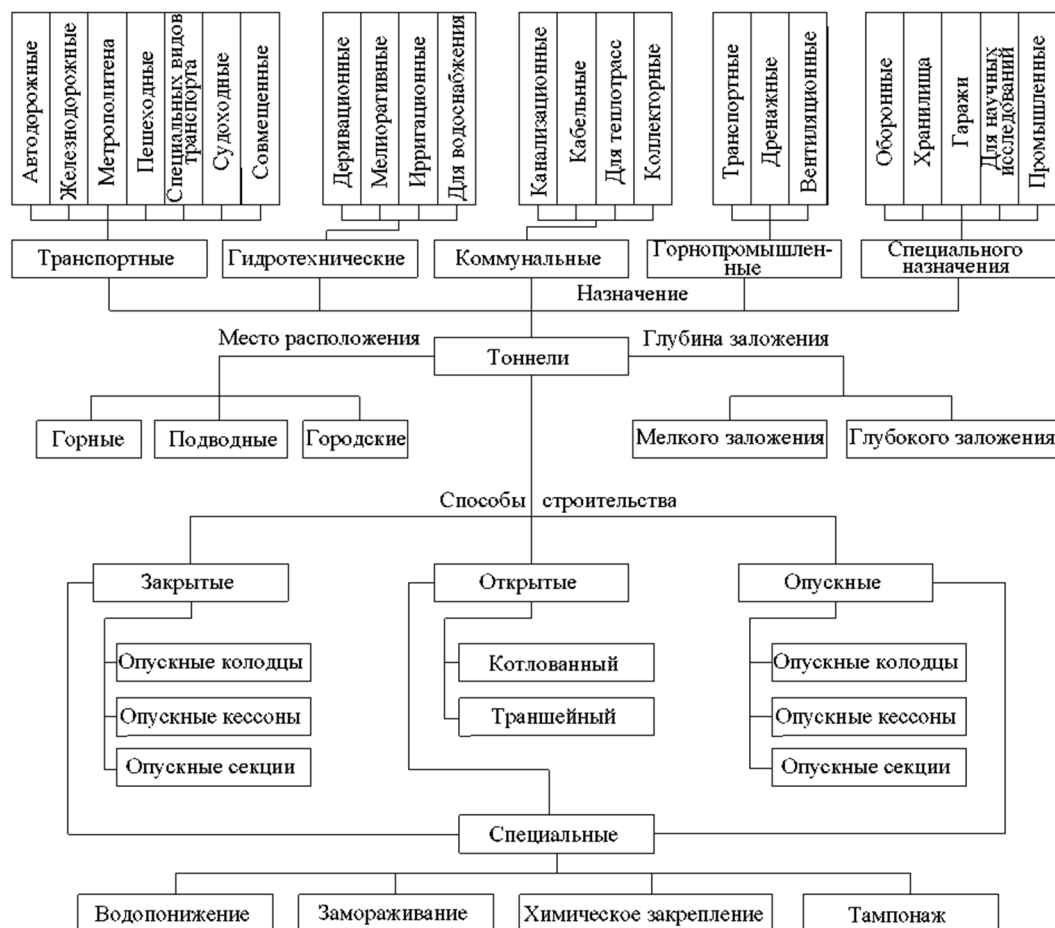


Рис. 1. Разновидности тоннелей

В номенклатуру подземных объектов могут включаться только сооружения, характеризующиеся периодическим пребыванием людей и безвредностью микроклимата для обслуживающего персонала.

План каждой линии зависит не только от городской застройки, но и от глубины заложения тоннелей. При мелком заложении тоннелей трасса выбирается вдоль основных транспортных магистралей города; при глубоком заложении, когда направление линий не зависит от город-

ской застройки, план ее определяется привязкой к местам наибольших пассажирских потоков на центральных площадях, у вокзалов, стадионов, парков и др.

Профили и глубина заложения линий назначаются в зависимости от горно-геологических и гидрогеологических условий, способа работ по сооружению тоннелей, эксплуатационных требований, а также от насыщения подземного пространства городскими сооружениями.

Линии мелкого заложения располагаются обычно на глубине промерзания грунта, позволяющей вести работы открытым или комбинированным способом (траншейным, под перекрытием), либо на глубине с минимальной кровлей пород над тоннелями, позволяющей применять закрытый способ работ. При этом в основании тоннелей должны залегать прочные породы.

Подземные сети, коллекторы, тоннели, каналы являются подземными инженерными сооружениями, которые наиболее широко распространены и насыщают подземное пространство города.

Размещение инженерных сооружений в центре нагрузок в подземном пространстве с блокировкой в отдельных случаях позволяет улучшить планировку жилых районов, высвободить городскую территорию, сократить протяженность инженерных сетей. Ряд городских проблем позволяют решить подземные транспортные сооружения. Их строительство позволяет: разгрузку транспортных магистралей и узлов их пересечения, ускорение движения всех видов транспорта и пешеходов, а также снижение загазованности городской атмосферы [13].

Подземное строительство сооружений улично-дорожной и транспортной сети позволяет организовать скоростное движение автотранспорта и одновременно повысить безопасность пешеходов. Отсутствие задержек автомобильного транспорта перед светофорами и в «пробках» снижает затраты времени на передвижение по городу, способствует снижению уровней транспортных шумов, а также уровней загрязненности воздушного бассейна выхлопными газами автомобилей.

Основным средством организации скоростного движения наземного транспорта является устройство транспортных и пешеходных тоннелей мелкого заложения, а также автотранспортных тоннелей глубокого заложения. Общие принципы проектирования автотранспортных тоннелей в городах сводятся к следующему: выбор автомобильных трасс, на которых целесообразно устройство тоннелей; обеспечение полного разделения в тоннелях встречного движения; исключение слияния в тоннелях второстепенных потоков с главными потоками транспорта [14].

Строительство автотранспортных тоннелей целесообразно на отдельных участках наиболее загруженных магистральных улиц и дорог как средство повышения их пропускной способности. Для обеспечения сохранности исторической застройки города строительство автотранспортного тоннеля часто оказывается единственно возможным решением.

Использование подземного пространства Кривого Рога имеет ряд особенностей, связанных со сложными горно-геологическими условиями и подработкой территории. Проведение горных выработок в массиве нарушает равновесие горных пород, в результате чего, они деформируются и сдвигаются. Сдвигание горных пород может происходить и под влиянием естественных природных факторов, к числу которых относятся тектонические процессы, выщелачивания, водопонижения и др [15].

С геомеханической точки зрения строительство подземных сооружений на подрабатываемых территориях осложняется следующими факторами: массив горных пород и земная поверхность многократно подработаны в разное время на различных глубинах подземными горными выработками; возможно воздействие горных работ на подземные сооружения в перспективе; по трассе тоннельных сооружений большое число разрывных геологических нарушений, которые сами по себе являются осложняющим фактором, а при подработке нарушений этот фактор становится преобладающим; массовое закрытие нерентабельных шахт с частичным или полным затоплением может вызвать активизацию процессов сдвижения массивов горных пород, следовательно, и земной поверхности [16].

Главной задачей строительства подземных сооружений в условиях плотной городской застройки является сведение к минимуму осадки земной поверхности. Оптимальным решением при строительстве таких объектов будет применение защитного экрана [17].

Конструктивным назначением экрана является предупреждение и минимизация деформаций и просадок поверхности, расположенной над сводом тоннеля в период его проходки и крепления. Существуют различные модификации этого способа, отличающиеся материалом,

формой и размерами экрана, способами возведения, наличием или отсутствием замковых элементов и др. По типу защитные экраны подразделяют на: металлические экраны из труб, железобетонные экраны из труб, экраны из стабилизированного закрепленного грунта, экраны из опережающей бетонной крепи.

Для экранов применяют стальные, железобетонные, асбоцементные и пластмассовые трубы диаметром от 80 до 250 см и длиной до 30-40 м. Трубы продавливают в породу по контуру выработки домкратными установками или проталкивают в пробуренные скважины отдельными звеньями по 2-5 м (рис. 2). По мере продавливания из труб извлекают породу, а по окончании продавливания трубы заполняют бетоном, и они образуют сплошное ограждение, под защитой которого производится разработка породы и возводится тоннельная обделка. По мере разработки породы в тоннеле звенья труб соединяют между собой сваркой или омоноличивают стыки либо соединяют с помощью замковых устройств хомутами или бандажами по типу шпунта.

При устройстве экранов применяют следующие технологические способы: продавливание или прокол труб малого диаметра, горизонтальное бурение, нарезание (фрезерующим или баровым рабочим органом) щелей длиной до 3-4 м и высотой 12-20 см и более, щитовую проходку выработок малого диаметра, микротоннелирование. Наибольшее распространение получили экраны из стальных труб, заполненных бетоном с арматурными каркасами.

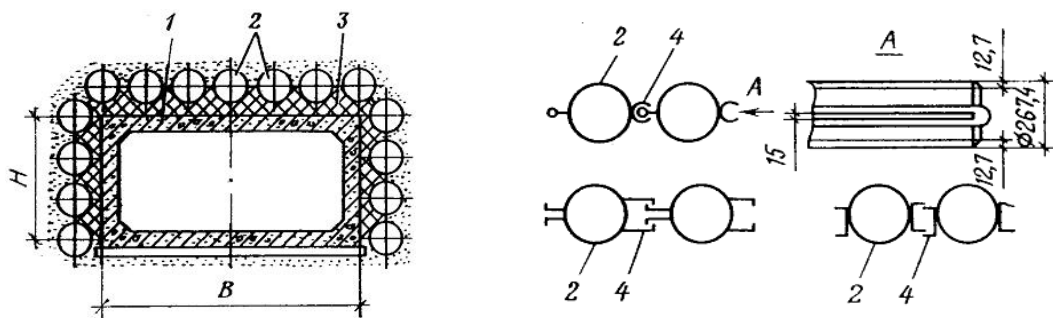


Рис. 2. Схемы продавливания и соединения труб:

1 – тоннель; 2 – трубы; 3 – бетонное заполнение; 4 – замковые соединения

Расчет конструкций защитного экрана из труб при сооружении тоннелей производят для назначения или проверки его параметров и возможности воспринимать заданные нагрузки. В некоторых случаях целью расчета является также определение деформаций элементов конструкции (трубы экрана и рамы временного крепления).

Характеристики грунтов горного массива вокруг тоннеля, используемые в расчетах защитного свода, должны определяться натурными или лабораторными исследованиями. При предварительных расчетах допускается использование данных из нормативных документов. Как правило, используются изотропные однородные линейно деформируемые и упругопластические модели грунта. Для этих моделей деформационными параметрами являются модуль деформаций E , МПа, и коэффициент Пуассона μ [18].

Переход грунта в пластическое состояние рекомендуется определять по условию разрушения Кулона – Мора. Прочность горных пород характеризуется: для нескальных грунтов параметрами сдвига (углом внутреннего трения φ , град. и сцеплением C , МПа); для скальных грунтов – прочностью на сжатие R_c , МПа, и прочностью на растяжение R_p , МПа.

Важным моментом в создании экрана является выполнение замковых устройств. С учетом возможных растягивающих и сдвигающих усилий эти конструкции должны компенсировать возникающие деформации основания.

Наиболее точно напряженно-деформированное состояние защитного экрана в процессе проходки может быть оценено проведением пространственного расчета напряженно-деформированного состояния системы «конструкция – массив» с использованием методов механики сплошной среды. Для приближенного определения усилий в трубах экрана могут использоваться плоские расчетные конечно-элементные модели, плоскость которых параллельна оси тоннеля.

Защитный экран из труб при строительстве подземных сооружений не требует больших экономических затрат и остановки движений, позволяет разгрузить дорожное движение уличной сети и обезопасить пешеходов. Поэтому при строительстве тоннелей на застроенных городских территориях, а также при пересечении железнодорожных и автодорожных магистралей применяют защитные экраны, устраиваемые по технологии опережающей крепи.

Выводы и направление дальнейших исследований. Приведена область применения тоннелей, примеры их проектирования, технология и организация строительства различными способами, в инженерно-геологических и транспортных условиях в различные годы. Рассмотрены разновидности тоннелей, а также факторы, осложняющие, с геомеханической точки зрения, строительство подземных сооружений на подрабатываемых территориях и в сложных инженерно-геологических условиях Кривого Рога. Предложены предпосылки расчета защитного экрана из труб, назначение которого состоит в предупреждении и минимизации деформаций и просадок поверхности, расположенной над сводом тоннеля в период его проходки и крепления.

С целью улучшения работы экрана, т.е. уменьшения величины относительных деформаций поверхности территории и перераспределения нагрузки на подземные сооружения необходима дальнейшая конструктивная разработка замковых соединений в виде линейно-подвижных конструкций.

Список литературы

1. Шаповалов А.Н. Инженерные сооружения: учебн. пособие / А.Н. Шаповалов. – Харьков: ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, 2017. – 292 с.
2. Основания, фундаменты и подземные сооружения: справочник проектировщика / Е.А. Сорочан, Ю.Г. Трофименков, М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.
3. Харченко А.В. Использование подземного пространства большого города для размещения транспортной инфраструктуры / А.В. Харченко. – М.: Издательство МГУ, 2005. – 210 с.
4. Тімченко Р.О. Конструкція поперечного тунелю. / Р.О. Тімченко // Современные проблемы строительства. – Донецк, 2011. – № 14. – С. 47-52.
5. Timchenko R.A. Constructive solution to the tune by the permanent transport master. / R.A. Timchenko, D.A. Krishko, S.O. Macyshin // International scientific and technical conference “Geotechnics – XXI” (October 24 – 26, 2017, Poltava). – Poltava: PNTU, 2017. – P. 214-220.
6. Абрамчук, В.П. Подземные сооружения / В.П. Абрамчук, С.Н. Власов, В.М. Мостков. – М.: ТА Инжиниринг, 2005. – 464 с.
7. Баклашов И.В. Механика подземных сооружений и конструкции крепей. Учебник для вузов / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия – М.: Недра, 1992. – 543 с.
8. Конохов Д.С. Использование подземного пространства. Учебн. пособие для ВУЗов / Д.С. Конохов / – М. Архитектура-С, 2004. – 296 с.
9. Лысыков Б.А. Использование подземного пространства. Монография / Б.А.Лысыков, А.А.Каплюхин / – Донецк: Норд-Компьютер, 2005. – 390 с.
10. Results of geotechnical modelling of the influence of construction of the deep foundation ditch on the existing historical building / A.V. Ponomaryov, S.V. Kaloshina, A.V. Zakharov, M.A. Bezgodov, R.I. Shenkman, D.G. Zolotozubov // Japanese Geotechnical Society Special Publication: the 15th Asian Regional Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: Geotechnical heritage. Part 2 (TC301/ATC19 Session). – 2015. – Vol. 2, № 78. – P. 2676–2679.
11. Конохов Д.С. Строительство городских подземных сооружений мелкого заложения. Специальные работы. Учебн. пособие для ВУЗов / Д.С.Конохов / – М. Архитектура-С, 2005. – 304 с.
12. Цимбал С.Й. Підземне будівництво: Навчальний посібник / С.Й. Цимбал. – К.: КНУБА, 2004. – 148 с.
13. Пономарев А.Б. Подземное строительство: учебн. пособие / А.Б. Пономарев, Ю.Л. Винников. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014 – 262 с.
14. Далматов Б.И. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений / Б.И. Далматов, В.Н. Бронин [и др.] – М.: Изд-во АСВ; СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2006. – 428 с.
15. Драновский А.Н. Подземные сооружения в промышленном и гражданском строительстве / А.Н. Драновский, А.Б. Фадеев – Казань: Изд-во Казанского университета, 1993. – 355 с.
16. Теличенко В.И. Современные технологии комплексного освоения подземного пространства мегаполисов / В.И. Теличенко [и др.]. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 360 с.
17. Маковский Л.В. Проектирование автодорожных и городских тоннелей / Л.В. Маковский. – М.: Транспорт, 1993. – 89 с.
18. Мангушев Р.А. Основания и фундаменты / Р.А. Мангушев [и др.]. – М.: Изд-во АСВ, 2013. – 391 с

Рукопись поступила в редакцию 18.04.2018

С.В. БІЛАШЕНКО, асистент, Н.Н. ШАПОВАЛОВА,
О.Г. РИБАЛЬЧЕНКО, старші викладачі
Криворізький національний університет

РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ БІБЛІОТЕКИ KERAS

Мета роботи полягає у дослідженні архітектури глибокої згорткової нейронної мережі для розпізнавання зображень, розробці алгоритму її реалізації. В ході числового експерименту необхідно обґрунтувати підбір оптимальних гіперпараметрів експлуатації моделі: швидкості навчання, кількості шарів у мережі, кількості нейронів у прихованому шарі.

Методи. В ході дослідження використано метод аналізу вхідних даних, заснований на властивостях рецептивних полів біологічних нейронів, метод синтезу конвергуючих каскадів, що призводять до повноз'єднаних шарів штучної нейронної мережі, практичний метод використання певної архітектури моделі для розпізнавання зображень, емпіричний метод встановлення оптимальних значень основних гіперпараметрів навчання згорткової нейронної мережі.

Наукова новизна. Запропоновано алгоритм реалізації глибокої згорткової нейронної мережі, обґрунтовано вибір навчальної множини, що відповідає критерію достатньої репрезентативності, теоретично і практично обґрунтовано підбір оптимальних гіперпараметрів навчання мережі за критерієм якості експлуатації моделі.

Практична значимість виконаної роботи полягає в поліпшенні якості навчання глибоких згорткових нейронних мереж, розробці методики побудови програмної моделі системи розпізнавання зображень з використанням бібліотеки Keras для мови програмування Python 3, яка демонструє процес навчання і розпізнавання, а також дозволяє виконувати дослідження роботи згорткової нейронної мережі.

Результати. Розроблено структуру штучної згорткової нейромережі, запропоновано методику побудови моделі вхідних даних та поетапної реалізації каскадів прихованих шарів мережі, алгоритм її навчання, обґрунтовано вибір навчальної вибірки. Запропоновано програмну модель згорткової нейронної мережі розпізнавання зображень на основі методів бібліотеки Keras, реалізованою мовою програмування Python 3, яка дозволила емпірично визначити основні оптимальні параметри навчання моделі такі як швидкість навчання, кількості шарів у мережі і кількості нейронів у прихованому шарі.

Ключові слова: згорткові нейронні мережі, глибоке навчання, розпізнавання зображень, архітектура глибоких згорткових нейронних мереж, бібліотека Keras, набір даних CIFAR-10.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-147-153

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Розпізнавання образів – процес віднесення об'єкта з фіксованою групою його властивостей до одного об'єкту з множини образів за задалегідь обумовленими правилами.

Розпізнавання об'єктів, як прикладна задача, знаходить широке використання у багатьох сферах діяльності людини: технічна діагностика; медична діагностика; біометрія; системи; обробка текстів; біоінформатика; прогнозування; робототехніка.

Одним з сучасних прогресивних методів вирішення задачі розпізнавання об'єктів є застосування нейронних мереж. Слід зазначити, що теорія та практика навчання нейронних мереж в наші дні бурхливо розвивається. Це викликано успішним застосуванням методів глибокого навчання. На основі цієї парадигми навчання нейронні мережі третього покоління позбулися ряду проблем, що стримували поширення та застосування традиційних нейронних мереж. Мережі, навчені за допомогою алгоритмів глибокого навчання, перевершили за точністю кращі альтернативні підходи, особливо при розпізнаванні зображень та аналізі текстової інформації [1].

Аналіз досліджень і публікацій. Штучні нейронні мережі являють собою математичну модель функціонування біологічних нейронних мереж – мереж нервових клітин живого організму. Як і в біологічній нейронній мережі, основним елементом штучної нейронної мережі є нейрон. Сполучені між собою нейрони, утворюють шари, кількість яких може варіюватися в залежності від складності нейронної мережі і вирішуваних нею завдань. Теоретичні основи програмування таких нейронних мереж, описуються у багатьох роботах [2, 3, 4].

Штучна нейронна мережа з декількома прихованими шарами – це глибока нейронна мережа (ГНМ). Подібно до звичайних нейронних мереж, ГНМ можуть моделювати складні нелінійні відносини між елементами.

Перевагою нейронних мереж перед традиційними алгоритмами є можливість їх навчання.

У процесі навчання ГНМ отримувана модель намагається представити об'єкт у вигляді комбінації простих примітивів. Додаткові шари дозволяють будувати абстракції все більш високих рівнів, що дає можливість створювати моделі для розпізнавання складних об'єктів реального світу. Найчастіше ГНМ будуються як мережі прямого поширення. Однак останні дослідження показали можливість застосування техніки глибокого навчання – це підмножина алгоритмічних методів, які базуються на аналогії зі структурою нейронів мозку людини [5]. Ці методи намагаються моделювати високорівневі абстракції у даних, використовуючи архітектури, що складаються з безлічі нелінійних трансформацій.

Для вирішення завдань на основі нейронної мережі розробникам потрібно: вибрати відповідну модель мережі; визначити топологію мережі (число елементів та їх зв'язки); вказати параметри навчання.

Для класифікації зображень добре підходять згорткові нейронні мережі (ЗНМ) – клас ГНМ прямого поширення. Їх реалізація базується на спеціальній архітектурі, інспірованої даними, які отримані у фізіологічних експериментах із зоровою корою. ЗНМ побудовані на використанні одного із різновидів багат шарових перцептронів, який розроблений таким чином, щоб мінімізувати обсяг попередньої обробки вхідної інформації [6]. Навчання ЗНМ відноситься до типу задач навчання «з учителем». У цій схемі система навчається розпізнавати образи за допомогою різного роду адаптивних схем. Розпізнавання за такою схемою характеризується тим, що заздалегідь відома правильна класифікація кожного навчаючого образу [7].

Топологія ЗНМ, запропонована Яном ЛеКуном [8] полягає в чергуванні згорткових шарів, субдискретизуючих шарів і наявності повнозв'язних шарів на виході. Така архітектура містить три основних парадигми: локальне сприйняття, розподілені ваги і субдискретизацію. Локальне сприйняття полягає в тому, що на вхід одного нейрона подається не все зображення, а лише деяка його область. Концепція розподілених ваг припускає, що для великої кількості зв'язків використовується дуже невеликий набір ваг. Суть субдискретизації полягає в зменшенні просторової розмірності зображення. Чергування шарів дозволяє складати карти ознак з карт ознак, що на практиці означає здатність розпізнавання складних ієрархій ознак.

Щодо основних гіперпараметрів ЗНМ, а саме швидкості навчання і кількості нейронів у шарі мережі, то ці параметри підбираються дослідником емпіричним шляхом, або використовуються значення вже широковідомих, добре протестованих мереж з аналогічною архітектурою. Швидкість навчання не є постійною величиною, а лінійно зменшується зі збільшенням числа ітерацій. Вона визначає швидкість зменшення величини корекції ваг [9]. Визначення кількості нейронів у шарі – дуже важливий етап в застосуванні ГНМ. В даний час немає ніяких жорстких правил ні для вибору кількості прихованих шарів, ні для вибору кількості нейронів в них. Занадто мала кількість не дозволить мережі навчитися. Занадто велика спричинить збільшення часу навчання мережі до фактично нереального значення [11], або призведе до перенавчання мережі.

Постановка завдання. Необхідно віднести об'єкт з фіксованою групою його властивостей до одного об'єкту з множини образів за заздалегідь обумовленим правилом. В якості алгоритму класифікації зображень буде використано модель ЗНМ.

Згорткова мережа може бути описана наступним рівнянням

$$(f * g)[m, n] = \sum_{k, l} f[m - k, n - l] \cdot g[k, l],$$

де f – початкова матриця зображення; g – ядро (матриця) згортки; символом $*$ позначена операція згортки.

Модель ЗНМ складається з трьох типів шарів: згортковий, підвибірковий та повноз'єднаний. Типова архітектура згорткової нейронної мережі подана на рис.1.

Згортковий шар нейронної мережі реалізує ідею локальних рецептивних полів, при цьому кожний вихідний нейрон сполучений лише з певною (невеликою) областю вхідної матриці, моделюючи таким чином деякі особливості людського зору.

У спрощеному вигляді цей згортковий шар можна описати наступним виразом $x^l = f(x^{l-1} * k^l + b^l)$, де x^l – вихід шару; $f(\cdot)$ – функція активації; k^l – коефіцієнт зрушення; символом $*$ позначена операція згортки входу x з ядром k .

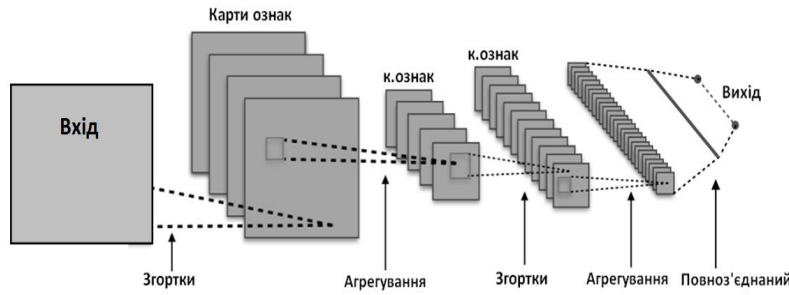


Рис. 1. Типова архітектура ЗНМ

При цьому за рахунок крайових ефектів розмір вихідних матриць зменшується

$$x_j^l = f\left(\sum_i x_i^{l-1} * k_j^l + b_j^l\right),$$

де x_j^l – карта ознак j ; $f()$ – функція активації; b_j – кое-

фіцієнт зрушення для карти ознак j ; k_j^l – ядро згортки з номером j ; x_i^{l-1} – карти ознак попереднього шару.

Функцією підвибіркового шару є зменшення розміру вхідної карти ознак (зазвичай вдвічі). Це можна здійснити різними способами: для усередненого пулінгу використовується середнє арифметичне значення відгуків у деякій області; при використанні max-пулінгу вся карта ознак розподіляється на комірки розміром 2×2 елемента, серед яких обирають максимальні за значенням

$$x^l = f(a^l \cdot \text{subsample}(x^{l-1}) + b^l),$$

де x^l – вихід шару l ; $f()$ – функція активації; a, b – коефіцієнти; $\text{subsample}()$ – операція вибірки локальних максимальних значень.

Повноз'єднаний шар багатозарового перцептронну можна описати наступним співвідношенням

$$x_j^l = f\left(\sum_i x_i^{l-1} \cdot w_{ij}^{l-1} + b_j^{l-1}\right),$$

де x^l – вихід шару l ; $f()$ – функція активації; b – коефіцієнт зрушення; w – матриця вагових коефіцієнтів.

Навчання глибоких нейронних мереж може бути здійснено за допомогою звичайного алгоритму зворотного поширення помилки. Існує велика кількість модифікацій даного алгоритму. Таким чином, може бути використано кілька правил налаштування ваг. Наприклад, навчання вагових коефіцієнтів $w_{ij}(t)$ алгоритмом стохастичного градієнтного спуску

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta \frac{\partial C}{\partial w_{ij}},$$

де η – стала для регулювання величини поточного кроку; C – функція втрат. Вибір функції втрат може бути обумовлений класом завдання машинного навчання (з учителем, без учителя, з підкріпленням) і функції активації.

Дослідимо етапи моделювання і навчання ЗНМ для розпізнавання об'єктів, використовуючи бібліотеку Keras, для мови програмування Python 3.

Викладення матеріалу та результати. У дослідженні пропонується використання ЗНМ, архітектура якої представлена на рис.2. За основу архітектури взята ЗНМ, запропонована Яном ЛеКуном у 1988 році [10]. Основна ідея такої архітектури полягає в наявності шарів, що чергуються, реалізуючи операції згортки та max-пулінгу. Операції згортки ґрунтуються на ретельно підібраних локальних рецептивних полях з вагами, що розділяються між декількома картами ознак. Останні шари мають приховані шари і функцію активації softmax у вихідному шарі.

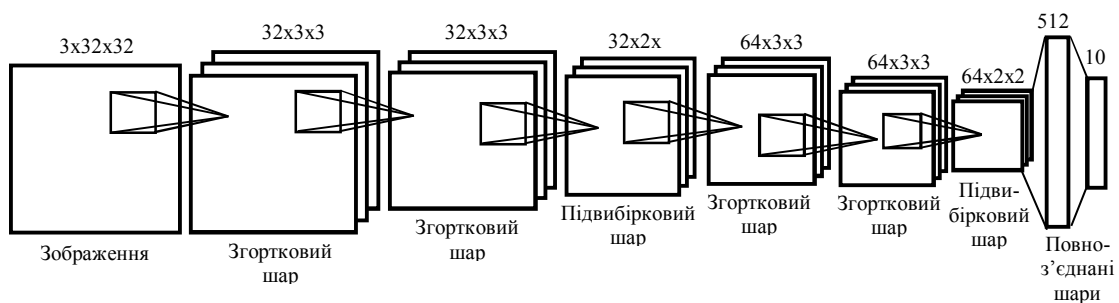


Рис. 2. Архітектура ЗНМ

На вхід ЗНМ подається зображення з трьох каналів RGB, після чого розміщені декілька каскадів, які складаються із згорткових та субдискретизуючих шарів. Вихідний шар містить ймовірності належності зображення до того чи іншого класу. Запропонований варіант глибокої згорткової нейронної мережі складається з 8 шарів.

Порядок чергування шарів заданий у вигляді двох каскадів, що повторюються. Кожен каскад містить два шара згортки та один шар підвибірки.

Для навчання глибоких нейронних мереж часто використовується метод зворотного поширення помилки і градієнтний спуск через простоту реалізації і хорошу збіжність цих методів. Однак, при навчанні глибоких структур виникає кілька проблем, які особливо важливі при оптимізації функцій у просторі великої розмірності: кількість обчислювальних елементів, початкові умови для ваг мережі, а також константа регулювання величини кроку.

Крім того, алгоритм стохастичного градієнтного спуску відомий своєю проблемою зникаючого градієнта, яка полягає в ослабленні градієнта, а значить і швидкості навчання в міру поглиблення від останніх шарів мережі до початку мережі. Через це глибокі шари мережі дуже погано навчаються. Проте останнім часом замість функції активації вузла мережі виду сигмоїда в глибоких мережах використовують нелінійність виду ReLU (Rectified Linear Unit), функцію якої можна описати як $\max(0, x)$. Ця функція реалізує простий пороговий перехід в нулі. Обчислення сигмоїда та гіперболічного тангенсу потребує виконання ресурсномістких операцій, у той час, коли ReLU реалізується за допомогою порогового перетворення матриці активацій в нулі, ReLU не схильний до насичення. Глибока мережа з таким видом функції активації не має проблеми ослаблення градієнта і добре навчається градієнтним спуском.

До двох головних проблем ГНМ відносять ті ж проблеми, що виникають і при навчанні звичайних нейронних мереж: час навчання та перенавчання.

Глибокі структури більш схильні до перенавчання, оскільки, маючи більше шарів, які дозволяють моделювати високорівневі абстракції, мережа може “вивчити” рідкісні ситуації. У цьому випадку на допомогу приходять різні види регуляризації.

Dropout – це простий та ефективний метод регуляризації, який був запропонований в роботі [11]. Ідея метода полягає в тому, що в процесі навчання випадково із загальної мережі багаторазово виділяється деяка підмережа, оновлення ваг виконується тільки в межах цієї підмережі. Нейрони потрапляють в підмережу з ймовірністю p , яка має назву коефіцієнт дропаута. Застосування цього метода дозволяє запобігти перенавчанню згорткової нейронної мережі.

Детально розглянемо як реалізувати подібну глибоку згорткову нейронну мережу з використанням бібліотеки Keras для мови програмування Python 3.

Бібліотека Keras – інструмент глибокого навчання нейронних мереж. Це відкрита нейромережева бібліотека, яка є надбудовою над фреймворками DeepLearning4j, Tensorflow та Theano [12]. Вона націлена на оперативну роботу з мережами глибокого навчання, при цьому спроектована так, щоб бути компактною, модульною і розширюваною.

Вихідним будівельним блоком Keras є модель. У бібліотеці передбачені два способи з'єднання моделей: послідовна композиція та функціональна композиція.

Визначимо алгоритм реалізації глибокої згорткової нейронної мережі за допомогою бібліотеки Keras на мові програмування Python.

Завантаження комплекту даних CIFAR-10 $((X_{train}, y_{train}), (X_{test}, y_{test}) = \text{cifar10.load_data}()$.

Комплект даних CIFAR-10 складається з 60000 кольорових картинок розміром 32×32 пікселя з трьома каналами (50000 зображень – навчальний набір, 10000 – тестовий набір), розподілених на 10 класів (літак, автомобіль, пташка, кішка, олень, собака, жаба, кінь, човен, вантажівка). Комплект підготований таким чином, що на зображенні представлений лише один об'єкт, при цьому відсутні перетини між класами. Цей набір даних часто використовується для перевірки ефективності алгоритмів машинного навчання.

Під час завантаження комплекту даних CIFAR-10 зображення розподіляються між двома наборами (набір для навчання та набір для тестування). Крім того, виділяються так звані мітки класів, що містять правильні відповіді, який саме об'єкт представлений на зображенні.

Обробка даних. Виконаємо перетворення даних до категоріального виду (мітки класів містяться в категорії). Відомості про інтенсивність пікселів перетворимо до формату з рухомою точкою та нормалізуємо.

Створення моделі мережі ($model=Sequential()$). Для з'єднання моделі мережі будемо використовувати послідовну композицію, яка являє собою лінійний конвеєр (стек) шарів нейронної мережі.

Перші два шари згортки ($Convolution2D$) мають по 32 згорткові фільтри розміру 3×3 . У цих шарів розмір виходу такий самий, як і розмір входу, тобто 32×32 . В якості функції активації (activation function) використаємо ReLU, що вносить нелінійність у модель.

Наступний шар підвиборки ($MaxPooling2D$) має розмір блоку 2×2 та регуляризацию з коефіцієнтом 25% ($Dropout(0.25)$).

Другий каскад мережі складається з двох згорткових шарів ($Convolution2D$), які мають по 64 згорткових фільтри розміром 3×3 , та шару підвиборки ($MaxPooling2D$) з розміром блоку 2×2 та регуляризацию з коефіцієнтом 25% ($Dropout(0.25)$). В якості функції активації також використовуємо ReLU.

Дані перетворюються з двовимірного формату в одновимірний за допомогою ($Flatten()$) та передаються на повноз'єднаний шар ($Dense()$), що складається з 512 нейронів. В цьому шарі в якості функції активації також використовуємо ReLU. Наступний шар – вихідний ($Dense()$), що складеться з 10 нейронів. Для цього шару використовуємо функцію активації softmax, яка є узагальненням сигмоїди. Softmax «сплющує» k -розмірний вектор, що містить довільні дійсні числа, в k -розмірний вектор дійсних чисел з інтервалу $[0, 1]$. Між цими двома вихідними шарами застосовуємо регуляризацию з коефіцієнтом 50% ($Dropout(0.5)$).

На останньому етапі отриману глибоку згорткову нейронну мережу потрібно скомпілювати, привести до вигляду, який може бути виконаний базовою бібліотекою (Theano або TensorFlow).

Перед компіляцією потрібно прийняти декілька рішень: вибрати оптимізатор, тобто конкретний алгоритм, який буде оновлювати ваги під час навчання моделі; вибрати цільову функцію, яку оптимізатор буде використовувати для навігації по простору вагів; оцінити якість навченої моделі.

В бібліотеці Keras в якості оптимізатора реалізовано швидкий варіант градієнтного спуска – стохастичний градієнтний спуск (СГС) та два модернізовані методи оптимізації – RMSprop та Adam. Обидва ці методи використовують поняття імпульсу на додачу до поняття прискорення, що використовує СГС. Результатом такої модернізації є більш швидка сходимость методів за рахунок збільшення обсягів обчислень.

Бібліотека Keras підтримує наступні цільові функції.

Середньоквадратична похибка (СКП) – це усереднена сума квадратів різниць між передбаченими та істинними значеннями. Якщо позначити γ вектор n передбачень, а Y – вектор n значень, що спостерігаються, то середньоквадратична похибка дорівнює

$$СКП = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\gamma - Y)^2 .$$

Бінарна перехресна ентропія (БПЕ). Якщо модель передбачає значення p , тоді як істинне значення дорівнює t , то бінарна перехресна ентропія дорівнює

$$БПЕ = -t \log(p) - (1 - t) \log(1 - p) .$$

Категоріальна перехресна ентропія – це логарифмічна втрата у випадку декількох класів. Якщо модель передбачає значення p_{ij} , тоді як істинне значення дорівнює t_{ij} , то категоріальна перехресна ентропія дорівнює

$$L_i = -\sum_j t_{i,j} \log(p_{i/j}) .$$

Ця цільова функція використовується для передбачення багатокласових міток. Вона за замовчуванням використовується разом із функцією активації softmax.

Бібліотека Keras підтримує наступні показники якості: вірність, тобто відношення кількості правильних передбачень до загальної кількості міток; точність, тобто частина правильних відповідей моделі; повнота, тобто доля виявлених істинних подій.

При компіляції моделі в якості цільової функції використаємо категоріальну перехресну ентропію (`categorical_crossentropy`), процес оптимізації виконаємо за допомогою стохастичного градієнтного спуска, параметри якого варіюються: $SGD(lr=XXX, decay=1e-6, momentum=0.9, nesterov=True)$, де lr – швидкість навчання мережі. В якості метрики вико-

ристаємо точність (ассигасу).

Для навчання скомпільованої моделі нейронної мережі використаємо функцію $fit()$, яка приймає наступні параметри: $epochs$ (кількість періодів) – параметр, який враховує, скільки разів навчальний набір подавався моделі. На кожній ітерації оптимізатор намагається відкоригувати ваги для мінімізації цільової функції; $batch_size$, – параметр, який враховує, скільки навчальних наборів має побачити оптимізатор перед тим, як оновить ваги.

Після того, як модель глибокої згорткової нейронної мережі навчена, її слід перевірити на тестовому наборі, який містить зображення, які раніше не пред'являлися. Це дає можливість отримати мінімальне значення, що досягається цільовою функцією, та найкраще значення показника якості. При цьому навчальний і тестовий набір не повинні перетинатися.

Оцінимо вплив гіперпараметрів на якість навчання ЗНМ.

Побудуємо графіки вірності в залежності від кількості епох і шарів в мережі (рис. 3).

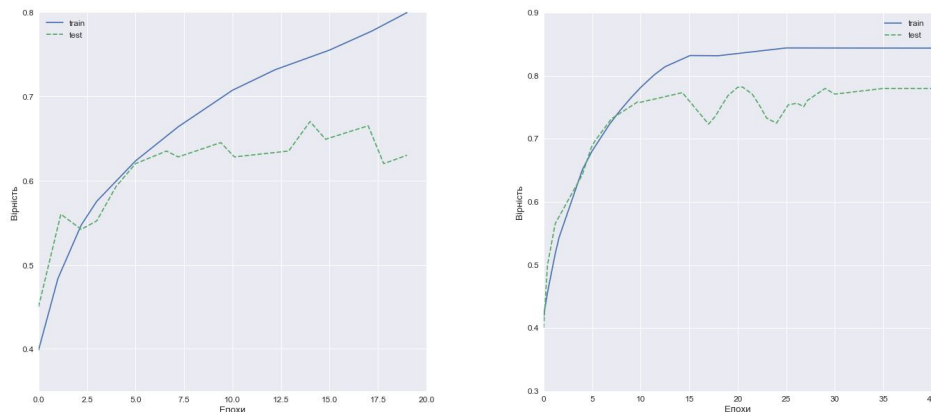


Рис. 3. Графіки вірності в залежності від кількості епох ЗНМ на 20-ти і на 40-ка епохах навчання

Мережа досягає вірності 78.4% на тестовому наборі за 40 ітерацій.

На графіку (рис. 4) помітно, що достатньої вірності 98% можливо досягти при 128 нейронах у прихованому шарі.

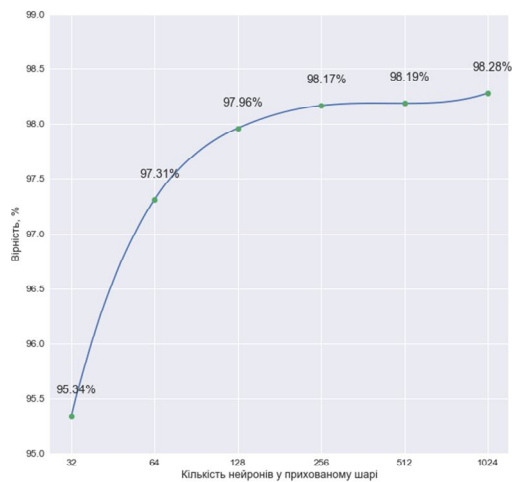


Рис. 4. Графіки вірності в залежності від кількості нейронів у прихованому шарі

Висновки та напрямок подальших досліджень. Розроблено структуру штучної згорткової нейронної мережі, запропоновано методику її навчання, обґрунтовано вибір навчальної множини, що відповідає критерію достатньої репрезентативності. Запропоновано програмну модель системи розпізнавання зображень з використанням бібліотеки Keras для мови програмування Python 3, яка демонструє процес навчання і розпізнавання, а також дозволяє виконувати дослідження роботи згорткової нейронної мережі. Експериментально визначено, що для оптимальної роботи ЗНМ достатньо 128 нейронів у прихованому шарі на 40 епохах навчання. В ході

подальших досліджень отримані результати планується застосувати в експерименті розпізнавання об'єктів у потоковому відео.

Список літератури

1. C. D. Manning «Computational Linguistics and Deep Learning» «Computational Linguistics», vol. 41, 2015
2. **Миронов И.С.**, Скурлаев С.В. Распознавание образов при помощи нейронной сети [Электронный ресурс]. URL: http://confonline.susu.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=57:2011-05-06-04-36-21&catid=16:-2----&Itemid=18
3. **Principe J.C.**, Euliano N.R., Lefebvre W.C. Neural and Adaptive Systems. Fundamentals Through Simulations. New York. John Wiley & Sons Inc. 2000.
4. **Luo F-L.**, Unbehauen R. Applied Neural Networks for Signal Processing. Cambridge University Press. 1998.
5. **Y. Bengio** «Learning Deep Architectures for AI», Found. Trends, vol. 2, 2009

6. Nitish Srivastava, Geoffrey Hinton, Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Ruslan Salakhutdinov; 15(Jun):1929–1958, 2014.
7. Мерков А. Б. Распознавание образов. Построение и обучение вероятностных моделей. 2014. 238 с.
8. Y. LeCun, Y. Bengio «Convolutional Networks for Images, Speech, and Time-Series», Brain Theory Neural Networks, vol. 3361, 1995
9. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. Springer, 2014. — 739 p.
10. Шеремет А.И., Перепелица В.В., Денисова А.М. Проектирование нейронной сети для распознавания символов в программной среде MATLAB [Электронный ресурс]. URL: <http://nauka.zinet.info/13/sheremet.php>
11. Y. LeCun and Y. Bengio “Word-level training of a handwritten word recognizer based on convolutional neural networks” in IAPR (Eds), Proc. of the International Conference on Pattern Recognition, II:88-92, IEEE, Jerusalem, October 1994.
12. Антонио Джулли, Суджит Пал. Библиотека Keras – инструмент глубокого обучения. Реализация нейронных сетей с помощью библиотек Theano и TensorFlow/пер. с англ. Слинкин А. А. – М. : ДМК Пресс, 2018. – 294 с.

Рукопис подано до редакції 27.03.2018

УДК 622.807:621.928.9

О. Є. ЛАПШИН, д-р техн. наук, проф., М. В. ХУДИК, канд. техн. наук, ст. викладач
Криворізький національний університет

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ПИЛООСАДЖУВАЛЬНИХ КАМЕР ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ АСПІРАЦІЙНОГО ПОВІТРЯ

Мета. Метою даної роботи є аналіз існуючих конструктивних рішень при проектуванні пилоосаджувальних камер для знепилення аспіраційного повітря, яке видаляється від джерел виділення пилу. Переробка корисних копалин призводить до утворення та виділення у навколишнє середовище значної кількості промислового пилу. Для попередження поширення пилу у виробничих цехах, джерела виділення пилу обладнують аспіраційними укриттями, з яких запилене повітря видаляється до пилоочисних установок. Незадовільна робота пилоочисних агрегатів призводить до забруднення промислових майданчиків і території гірничо-збагачувальних комбінатів та шахт пилом погіршуючи санітарно-гігієнічні умови праці їх робітників

Методи дослідження. Використовувався аналіз та узагальнення літературних джерел, охоронних документів на винаходи та корисні моделі щодо типів та конструктивних рішень пилоосаджувальних камер для очищення аспіраційного повітря від пилу.

Наукова новизна. Розглянуто можливості підвищення ефективності пиловловлення промислового пилу з аспіраційного повітря пилоосаджувальними камерами за рахунок розміщення в них різних перешкод (горизонтальних або похилих полиць, напрямних пластин, вертикальних або горизонтальних перегорошок, волоконних завіс та ін.) для подальшої розробки та дослідження нової конструкції пилоосаджувальної камери.

Практична значимість. Проведений аналіз показав, що на ефективність пиловловлення пилоосаджувальної камери можливо впливати не тільки зміною геометричних розмірів камери (довжини, поперечного перерізу), а і за рахунок зміни параметрів пилових часток (діаметра). За рахунок укрупнення пилових часток можна досягти збільшення швидкості їх витання (осадження) і підвищення ефективності роботи пилоосаджувальної камери при сталих її геометричних розмірах.

Результати. Проведені дослідження різних конструкцій пилоосаджувальних камер показали доцільність розробки нової конструкції пилоосаджувальної камери підвищеної ефективності з розміщеними в середині камери волоконними завісами з капрону та полівінілхлориду. Така конструкція камери для очищення аспіраційного повітря дозволить поліпшити санітарно-гігієнічні умови праці робітників гірничо-збагачувальних комбінатів та шахт.

Ключові слова: пилоосаджувальна камера, аспіраційне повітря, уловлення пилу, коагуляція, волоконні завіси.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-153-158

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Промислова переробка корисних копалин (залізна руда, кам'яне вугілля, граніти та ін.) супроводжується утворенням значної кількості пилу на всіх технологічних етапах їх переробки (класифікація за крупністю, дроблення і подрібнення, транспортування, збагачення). При контакті з організмом людини, промисловий пил може викликати різні захворювання (алергічні реакції, катаракту, пневмоконіози). З метою запобігання розповсюдженню пилу у виробничих приміщеннях, місця виділення пилу локалізуються за допомогою аспіраційних укриттів з видаленням запиленого повітря у пилоочисні установки.

Класифікацію за крупністю (грохочення) корисних копалин використовують на дробильно-сортувальних та збагачувальних фабриках з метою їх розділення за величиною шматків за до-

помогою грохотів різної конструкції (кокосникових, вібраційних, інерційних та ін.). Дроблення корисних копалин застосовується з метою розкриття зерен мінералів, що містяться в них, за допомогою шокових, конусних, валкових, молоткових та роторних дробарок. Подрібнення виконується для підготовки корисної копалини до операцій збагачення у барабанних, роликкових, кульових та ін. млинах. Збагачення корисної копалини має на меті відділення всіх цінних мінералів від порожньої породи, а також взаємне розділення цих мінералів, для чого можуть застосовуватись різні сепаратори (магнітні, електричні та ін.), флотаційні машини, згущувачі, центрифуги і багато іншого обладнання. Для переміщення корисних копалин від місця видобутку і між технологічними процесами використовують пластинчаті та стрічкові конвеєри, пластинчаті, стрічкові та вібраційні живильники.

Запиленість повітря в аспіраційних укриттях технологічного обладнання на різних етапах переробки залізної руди може становити: при грохоченні – до 350-400 мг/м³; при дробленні у шокових дробарках – до 900-1000 мг/м³, у конусних – до 700-800 мг/м³; при роботі млинів – до 90-120 мг/м³; при роботі сухих магнітних сепараторів – до 150-200 мг/м³; при перевантаженні з конвеєрів, живильників, грохотів – до 500-600 мг/м³, з дробарок – до 3000-5000 мг/м³.

Згідно технічних характеристик пилоочисних установок, які застосовують для очищення аспіраційного повітря гірничо-збагачувальних комбінатів та шахт Кривбасу, ефективність очищення на першій стадії повинна складати 85-95 %, на другій – 97-99 %. Однак, фактична сумарна ефективність двохстадійної системи очищення не перевищує 65-75 %, що призводить до значної запиленості промислових майданчиків і території комбінатів та шахт погіршуючи санітарно-гігієнічні умови праці робітників.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанню знепилення аспіраційного повітря, яке відсмоктується від укриттів технологічного обладнання, присвячено роботи ряду вітчизняних та закордонних авторів М.І. Біргера А.Ю. Вальдберга, В.П. Александрова, В.Н. Ужова, А.В. Шелекетіна, І.І. Афанасьєва, О.Є. Лапшина, О.В. Калмикова, К.Г. Руденка, В.І. Мулявка, А.М. Кіріченка, А.А. Немченка, Andrew B. Cecala, Andrew D. O'Brien, Joseph Schall, Jay F. Colinet, William R. Fox, Robert J. Franta, Jerry Joy, Wm. Randolph Reed, Patrick W. Reeser, John R. Rounds, Mark J. Schultz та ін. [1-5].

Постановка завдання. Провести аналітичний огляд існуючих конструктивних рішень пилоосаджувальних камер, які застосовують при знепиленні аспіраційного повітря, з метою визначення можливості їх подальшого удосконалення та використання для покращення санітарно-гігієнічних умов праці робітників гірничо-збагачувальних комбінатів та шахт.

Викладення матеріалу та результати. Вибір способу пиловловлення для очищення аспіраційного повітря від пилу залежить від властивостей і цінності самого пилу, що вловлюється, необхідного ступеня очищення, температури повітря, що очищується і т.п.

Усі загальновідомі способи уловлення пилу з аспіраційного повітря можна розділити на сухі та мокрі (рис. 1).



Рис. 1. Класифікація пристроїв для уловлення пилу за способом очищення

Мокрі способи характеризуються великими енерговитратами та вартістю очищення повітря від пилу, наявністю стоків, необхідністю захисту пилоочисних апаратів від корозії та видалення відкладень на стінках апаратів і трубопроводів, тому перевага надається сухим способам знепилення.

Гравітаційне уловлення пилу відбувається за рахунок осадження пилових частинок під дією сили тяжіння при русі запиленого повітря з малою швидкістю без зміни напрямку потоку.

Інерційне уловлення пилу засноване на прагненні пилових часток зберігати початковий напрямок руху при зміні напрямку запиленого потоку повітря.

Фільтраційне пиловловлення – процес очистки запиленого повітря від твердих частинок при його пропусканні через пористу перегородку (тканина, волокна, сітка та ін.). Частинки, що містяться в потоці повітря, утримуються на поверхні або в об'ємі пористої перегородки, а повітря проходить крізь неї.

Електричне пиловловлення – осадження пилових частинок із запиленого повітряного потоку під впливом електричного поля на однойменної (негативно) заряджені частинки пилу. Електричне поле створюють за допомогою коронуючих електродів, до яких підводять електричний струм негативної полярності і високого потенціалу (40-60 кВ).

Згідно ГОСТ 25199-82 «Оборудование пылеулавливающее» та ГОСТ 12.2.043-80 «Классификация пылеулавливающего оборудования» пилоочисні апарати за принципом дії поділяються на два основних види: механічні та електричні (рис. 2).



Рис. 2. Класифікація пристроїв для уловлення пилу за принципом дії

Пилоосаджувальна камера є найпростішим пилоочисним пристроєм, в якому запилений повітряний потік переміщується з малою швидкістю, завдяки чому відбувається гравітаційне осадження пилових часток.

Перевагами пилоосаджувальних камер є: простота будови та експлуатації; надійність та довговічність; можливість компонування з іншими елементами аспіраційних систем і можливість

застосування як у стаціонарних, так і у мобільних установках; незначний гідравлічний опір (до 200 Па). Недоліками пилоосаджувальних камер є: низька ефективність осадження тонких фракцій пилу з газової або повітряної суміші; великі габаритні розміри при великих витратах повітря; уловлення переважно важких та крупних часток.

На рис. 3 наведено конструкції простих (порожніх) пилоосаджувальних камер.

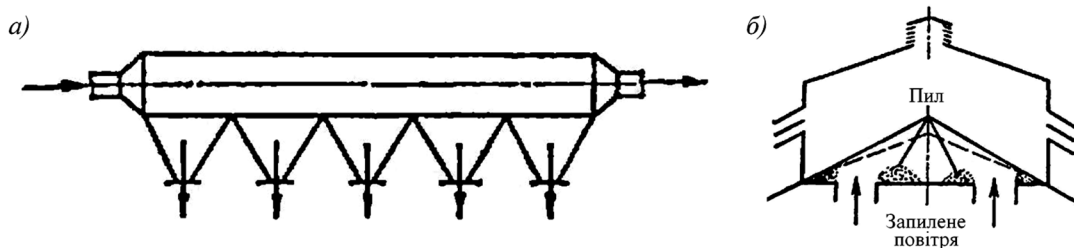


Рис. 3. Прості (порожні) пилоосаджувальні камери: а – горизонтальна; б – вертикальна

Основними розмірами пилоосаджувальної камери є її висота, ширина та довжина. Геометричні розміри визначають час перебування потоку запиленого повітря в камері.

Розміри порожніх пилоосаджувальних камер визначають, виходячи із заданої витрати повітря та мінімального розміру часток, які треба уловити. Співвідношення довжини та висоти камери визначається із співвідношення швидкості руху запиленого потоку повітря і швидкості витання (осадження) частки

$$v_v/v_n = H/L, \quad (1)$$

де v_v , v_n – відповідно швидкості витання та руху повітряного потоку, м/с; H , L – відповідно висота та довжина пилоосаджувальної камери, м.

Із співвідношення (1) видно, що чим менша швидкість руху запиленого потоку повітря і висота пилоосаджувальної камери і більше її довжина, тим меншою буде швидкість витання (осадження) часток, тобто тим більш дрібні частки можуть осідати в камері.

Ширина камери визначається, виходячи із прийнятих для розрахунку швидкості руху повітряного потоку, висоти камери і витрати запиленого повітря

$$B = L/HQ_n, \quad (2)$$

де Q_n – витрати аспіраційного повітря, $\text{м}^3/\text{с}$.

Для рівномірного повітродозподілу по перерізу пилоосаджувальні камери можуть обладнуватися дифузорами з розсічками, розташованими під кутом $10-12^\circ$ одна до одної, та газорозподільними решітками.

Оскільки пилоосаджувальні камери займають багато місця вони знаходять обмежене застосування у якості самостійних елементів пиловловлюючої системи. Однак прості варіанти пилоосаджувальних камер застосовуються в якості елементів основного технологічного обладнання. Так, холодні головки обертових печей та сушильних барабанів обладнуються пиловими камерами, які дозволяють вловлювати крупнодисперсні частки, що попереджає їх осадження в аспіраційних повітропроводах і дозволяє знизити навантаження на високоефективні пиловловлювачі. Тому пилоосаджувальні камери доцільно використовувати на першій стадії очистки газового або повітряного потоку для осадження крупних та важких часток.

Пилоосаджувальні камери можуть виготовляти з цегли, залізобетону або сталі.

Розрахунок пилоосаджувальної камери зводиться до визначення площі осадження пилових часток, тобто площі днища камери та її стінок. При цьому приймають ряд допущень: пил рівномірно розподіляється по перерізу камери як за концентрацією, так і за дисперсністю; пил складається зі сферичних часток, осадження яких повністю підпорядковується закону Стокса; швидкість руху повітря по перерізу камери приймається рівномірною; результат дії конвекційних потоків і турбулентності повітряного потоку на частки пилу дорівнює нулю; осаджений пил не виноситься з камери.

При виборі швидкості руху запиленого повітря в камері необхідно враховувати властивості матеріалу часток пилу. Наприклад, крохмаль або сажа підхоплюються за дуже маленьких швидкостей (до $0,8 \text{ м/с}$), тоді як для агрегованих часток (цемент, кокс) допустимі більш високі швидкості. Так, гази після обертової печі для випалу доломіту, проходячи через пилоосаджувальну камеру обсягом 3200 м^3 ($29,8 \times 18 \times 6 \text{ м}$) зі швидкістю $1,4 \text{ м/с}$, знаходячись у камері приблизно 20 с , очищувались від пилу на 40% [6].

Ефективність уловлення пилових часток за допомогою гравітаційного осадження у камерах можна підвищити, зменшивши висоту їх падіння. Це можливо здійснити, помістивши в порожнину пилоосаджувальної камери горизонтальні [7] або похилі пластини (полиці), що перетворює її в групу невеликих паралельних камер (рис. 4).

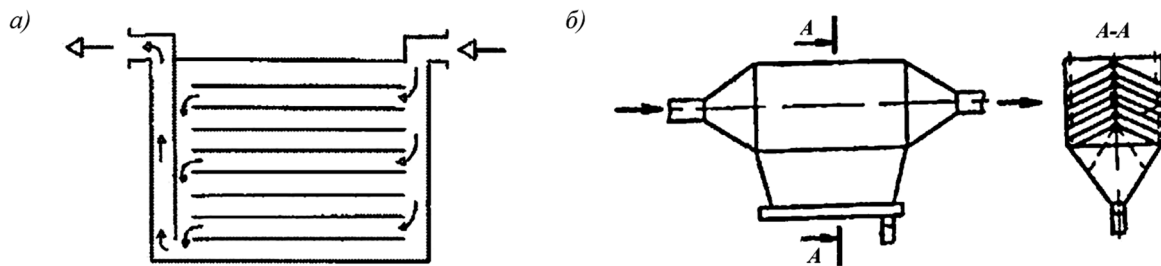


Рис. 4. Пилоосаджувальні камери з горизонтальними (а) та похилими (б) пластинами (полицями)

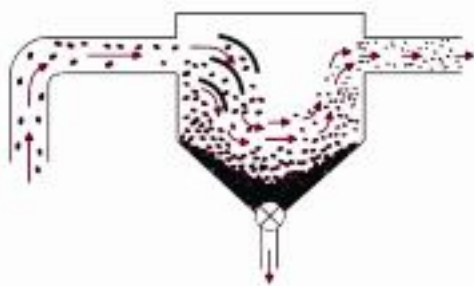


Рис. 5. Пилоосаджувальна камера з напрямними пластинами

Зменшити висоту падіння (осадження) пилових часток можна також за рахунок розміщення в середині камери спеціальних напрямних пластин для направлення запиленого повітряного потоку до днища пилоосаджувальної камери та зниження швидкості його руху (рис. 5). При зниженні швидкості руху повітря і його відхиленні вниз пилові частки, за рахунок зіткнення з напрямними пластинами та між собою, коагулюють утворюючи агрегати, які краще осідають під дією гравітації.

У деяких конструкціях пилоосаджувальних камер для підвищення їх ефективності передбача-

ється обладнання ланцюгових або дровових завіс та відхиляючих перегородок, вертикальних чи горизонтальних екранів (рис. 6) [8-10]. Це дозволяє додатково до гравітаційного ефекту використовувати ефект інерційного осадження пилових часток при обтіканні потоком повітря різних перешкод.

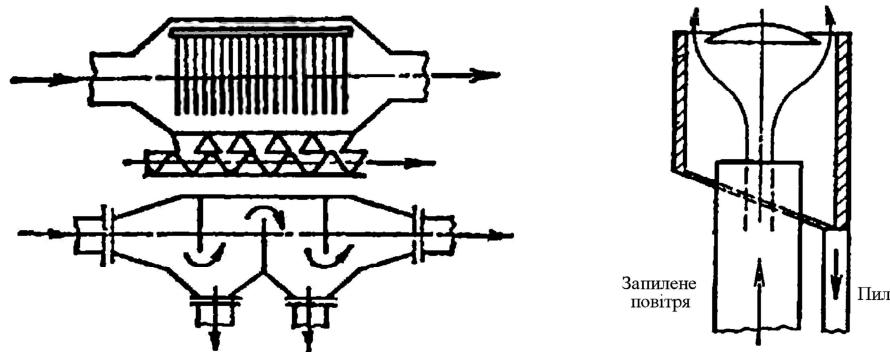


Рис. 6. Пилоосаджувальні камери з елементами інерційного пиловловлення

Крім вищевказаних методів, підвищити ефективність пилоочищення пилоосаджувальних камер можливо за рахунок зміни параметрів пилових часток. Згідно закону Стокса, швидкість витання (осадження) пилової частки прямо пропорційна квадрату її радіуса. Таким чином, укрупнивши частки можна досягти збільшення швидкості їх витання (осадження) і підвищення ефективності роботи камери при сталих геометричних її розмірах.

Одним із способів коагуляції пилових часток є розміщення на шляху руху запиленого потоку різних перешкод, які створюють електростатичний ефект у потоці повітря, що рухається в камері, наприклад, волоконних завіс з капрону та полівінілхлориду [11, 12]. Крім електростатичної дії на запилений потік волоконні завіси сприяють механічній коагуляції часток, а також пилоосадженню за рахунок втрати енергії пилової частки, що рухається, при її ударі об волокно. Пилові частки проходять між волокнами і, коагулюючись на них, під дією сили тяжіння осідають на дно камери.

Висновки та напрямок подальших досліджень. На основі проведених досліджень різних конструкцій пилоосаджувальних камер можна зробити висновок про доцільність розробки нової конструкції пилоосаджувальної камери підвищеної ефективності з розміщеними в середині камери волоконними завісами з капрону та полівінілхлориду для очищення аспіраційного повітря з метою поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці робітників гірничо-збагачувальних комбінатів та шахт.

Список літератури

1. Вальдберг А.Ю. Фильтры для очистки промышленных газов / А.Ю. Вальдберг, В.П. Александров. – М.: МГУИЭ, 2009 – 204 с.
2. Руденко К.Г. Обеспыливание и пылеулавливание при обработке полезных ископаемых / К.Г. Руденко, А.В. Калмыков. – М.: Недра, 1987. – 264 с.
3. Справочник по пыле- и золоулавливанию / [Биргер М.И., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И. и др.]; под общ. ред. А.А. Русанова. – М.: Энергия, 1983. – 312 с.
4. Афанасьев И.И. Обеспыливание на дробильных и обогатительных фабриках: Справочное пособие / Афанасьев И.И., Данченко Ф.И., Пирогов Ю.И. – М.: Недра, 1989. – 197 с.
5. Cecala A.B. Dust Control Handbook for Industrial Mineral Mining and Processing / A.B. Cecala, A.D. O'Brien, J.F. Colinet and others. – Pittsburgh-Spokane: NIOSH, 2012. – 314 p.
6. Вальдберг А.Ю. Теоретические основы охраны атмосферного воздуха от загрязнения промышленными аэрозолями / А.Ю. Вальдберг, Л.М. Исянов. – СПб.: Изд-во СПб ГТУ РП, 1999. – 235 с.
7. Патент на корисну модель № 1204 Україна, МПК В01D45/02. Пилоосаджувальна камера / І.О. Мікульонок; заявник і власник НТУУ «Київський політехнічний інститут». – № 2001064205; заявл. 18.06.2001; опубл. 15.04.2002, Бюл. № 4.
8. Патент на корисну модель № 95132 Україна, МПК В01D45/02. Пилоосаджувальна камера / В.П. Муляр; заявник і власник Муляр В.П. – № u201407361; заявл. 01.07.2014; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 23.
9. Патент на изобретение № 2306988 Российская Федерация, МПК В07В7/00, В01D45/04. Пылеосадительная камера / И.В. Бачурин, А.А. Соболев, В.А. Соболев, Л.Г. Суслова; заявитель и правообладатель ОАО «АВТО-ВАЗ». – № 2005128686/03; заявл. 14.09.2005; опубл. 20.03.2007; бюл. № 27.
10. Патент на корисну модель № 97725 Україна, МПК В01В7/06, В01D45/04. Пилоосаджувальна камера / Ю.Д. Чугунов, О.Г. Павлушин; заявник і власник Чугунов Ю.Д., Павлушин О.Г. – № a201009864; заявл. 09.08.2010; опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5.

11. А. с. 1819154 СССР, МПК В01D46/10. Пылеуловитель / **А.М. Кириченко, А.А. Немченко, В.И. Бережной и др.** - № 4853795/26; заявл. 18.06.1990; опубл. 30.05.1993; бюл. № 20.
12. **Hudyk N.V.** Determination of fiber filter dust collecting efficiency depending on particles distribution of industrial dust / **V.I. Dengub, V.A. Shapovalov, N.V. Hudyk** // Metallurgical and Mining Industry. – 2015, No. 5. – P. 67-71.

Рукопис подано до редакції 18.04.2018

УДК 624.012.454

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф., О.Ю. ЄРЬОМЕНКО,
М.О. ВАЛОВОЙ, кандидати техн. наук, доценти, С.О. ВОЛКОВ, аспірант
Криворізький національний університет

ВИГОТОВЛЕННЯ ЗРАЗКІВ БАЛОК ЗІ ЗМІШАНИМ АРМУВАННЯМ БАЗАЛЬТОВОЮ ТА МЕТАЛЕВОЮ АРМАТУРОЮ

Мета. Дослідження факторів, які впливають на міцність, жорсткість та тріщиностійкість згинних конструкцій, армованих композитною арматурою. Визначення шляхів зниження деформативності таких конструкцій.

Методи дослідження. Аналіз наявних відомостей про напружено-деформований стан згинних конструкцій, армованих композитною арматурою.

Наукова новизна. Виконано дослідження сучасних результатів експериментальних випробувань згинних елементів, армованих композитною арматурою. Установлено, що такі конструкції мають підвищену деформативність. Розроблено програму експериментальних випробувань, запроєктовано та виготовлено зразки балок зі змішаним армуванням, а також металевою арматурою та базальтовою арматурою, окремо, для визначення відмінностей їх напружено-деформованого стану.

Практична значимість. Установлено, що композитна арматура не має перешкод для армування згинних конструкцій, виходячи з вимог за першою групою граничних станів. Деформативність та тріщиностійкість таких конструкцій потребує розроблення додаткових конструктивних заходів для задоволення вимог за другою групою граничних станів. Отримано дані про ефективність впливу збільшення відсотка армування перерізу композитною арматурою на зменшення прогинів та збільшення тріщиностійкості.

Результати. Визначено, що згинні елементи, армовані композитною арматурою, мають більшу несучу здатність, але меншу жорсткість порівняно з аналогічними конструкціями, армованими металевою арматурою. З'ясовано, що збільшення міцності бетону приводить тільки до підвищення несучої здатності таких конструкцій і не впливає на показники деформативності. Установлено, що збільшення відсотка армування впливає як на показники міцності, так і на жорсткість (зниження прогинів до 40%) конструкцій, армованих композитною арматурою. Підвищена міцність та хороші антикорозійні властивості дозволяють створювати вироби з високими експлуатаційними характеристиками, підвищувати надійність та довговічність будівель і споруд. З метою дослідження ефективності використання змішаного армування для підвищення експлуатаційних показників балок, армованих базальтовою арматурою, було запроєктовано та виготовлено відповідні зразки балок, розроблено програму їх випробувань.

Ключові слова: композитна арматура, базальтова арматура, змішане армування, балка, міцність, жорсткість.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-158-163

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Одним із факторів передчасного виходу з ладу залізобетонних конструкцій є корозія арматури. Означена проблема характерна для будь-яких країн світу. За даними звіту, опублікованого федеральною адміністрацією США (FHWA), прямі витрати, пов'язані з корозією металу, у кожному промисловому секторі США складають 276 млрд дол. на рік [1]. Дана ситуація характерна і для нашої країни, особливо для галузей, у яких конструкції експлуатуються в умовах впливу агресивного середовища.

Використання матеріалів, інертних відносно впливу вологи, чи інших чинників, які викликають корозію, є шляхом розв'язання даної проблеми. Такі матеріали отримали назву композитних матеріалів. Промисловість випускає значну номенклатуру виробів із композитів, у яких складі є й арматура. Остання, завдяки високій питомій міцності, легкості, інертності до впливу агресивного середовища, є альтернативою для заміни металевої арматури. У світі використання композитної арматури при будівництві споруд і виготовленні конструкцій відбувається вже понад 20 років.

Композитна арматура виготовляється переважно зі скляного, базальтового або вуглецевого ролінгу та полімерного в'язучого. Зважаючи на високу вартість вуглецевої арматури, надалі у

© Валовой О.І., Єрьоменко О.Ю., Валовой М.О., Волков С.О., 2018

цій статті вона не розглядається. Базальтова арматура є перспективним виробом, який за вартістю є співставним із металевим прокатом, при цьому механічні властивості такі ж або кращі, ніж у склопластикової арматури [2]. Відомо, що композитна арматура має високу міцність на розтяг, але знижений модуль пружності порівняно зі сталлю. Останній фактор може стати причиною розвитку надмірних деформацій конструкцій армованих композитною арматурою. Зважаючи на те, що в нашій країні існує дуже обмежена кількість відомостей щодо напружено-деформованого стану згинних конструкцій армованих композитною арматурою взагалі і базальтовою зокрема, дослідження міцності та деформативності таких конструкцій є актуальним питанням.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження згинних конструкцій, армованих композитною арматурою, виконуються в широкому обсязі по всьому світу [2...15]. Отримані дані вказують на специфічний характер роботи таких конструкцій, що зумовлено відмінностями властивостей композитної та металевої арматури. Так, композитна арматура має високу міцність порівняно з металевою арматурою, унаслідок чого згинні елементи руйнуються, як правило, за бетоном стиснутої зони. Міцність останньої при цьому й визначає несучу здатність елемента. За даними досліджень [2, 5...8, 10, 14, 15], армування балок композитною арматурою дозволяє збільшити їх руйнівне навантаження на 10...150% порівняно з балками, армованими металевою арматурою. Така розбіжність у значеннях пов'язана з тим, що при "класичному" способі армування, коли конструкція руйнується за розтягнутою арматурою та однаковим відсотком армування перерізу, міцність зразків, армованих композитною арматурою, визначалася міцністю бетону стиснутої зони. Отже, різниця в прирості міцності визначалася різницею в класі бетону, який був застосований в тому чи іншому дослідженні [4, 6, 7, 10, 14, 15].

Крім високої міцності, композитна арматура має модуль пружності в 3...4 рази менший, ніж металева арматура. Проведені дослідження [11, 12] вказують на те, що прогини та ширина розкриття тріщин згинних зразків, армованих композитною арматурою, на 30...70% вищі, ніж у балках, армованих металевою арматурою, при рівні напружень 70% від руйнівних. Такі деформативні характеристики спонукали шукати шляхи підвищення жорсткості згинних конструкцій, армованих композитною арматурою, способом варіації механічних і кількісних характеристик матеріалів балки.

У працях [6, 7, 10, 12] однією зі змінних характеристик була міцність бетону. Було з'ясовано, що зі зростанням міцності бетону збільшується тільки несуча здатність зразків, армованих композитною арматурою, а деформативність залишається на тому ж рівні (рис. 1). Аналіз рис. 1

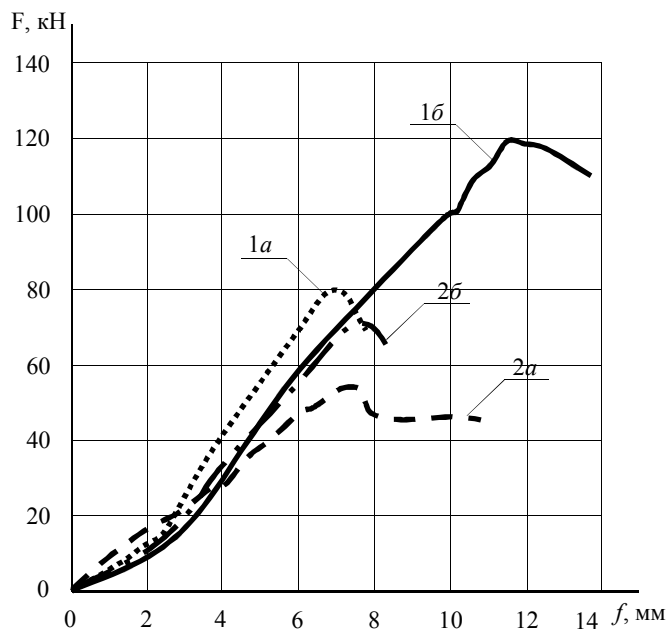


Рис. 1. Залежність навантаження-прогин в балках з різною міцністю бетону та однаковим відсотком армування [10]: 1а, 1б – армування 2Ø16A400, бетон B25 та B50, відповідно; 2а, 2б – армування 2Ø16GFRP, бетон B25 та B50, відповідно

показує, що підвищення міцності бетону вдвічі майже не вплинуло на прогини балок. Для експлуатаційного рівня навантажень різниця не перевищувала 5%. Відмінність полягала лише в характері тріщиноутворення. У балках, виготовлених з високоміцних бетонів, виникала значно менша кількість тріщин порівняно з балками на бетонах меншої міцності. При цьому, ширина розкриття та висота розвитку тріщин була більшою в зразках на бетонах високої міцності.

У працях [2, 4, 6, 8, 9, 14] досліджувався вплив зміни відсотка армування на міцнісні та деформативні властивості балок, армованих композитною арматурою. Загальним висновком проведених досліджень було те, що зі збільшенням відсотка армування зростає несуча здатність

та знижується деформативність згинних елементів. Так у праці [6] досліджувалися балки армовані склопластиковою арматурою (GFRP), зі змінним відсотком армування за серіями. Вихідні дані та отримані результати прогинів наведено в табл. 1.

Дані, наведені в таблиці 1, свідчать про те, що збільшенню відсотка армування на 0,5%, 1% та 1,5%, порівняно з контрольною серією, призвело до зменшення прогинів на 13,1%, 20% та 35,5% відповідно. Схожі результати описано в праці [8] – збільшення відсотка армування перерізу з 1,5% до 2,5% призвело до зменшення прогинів балок, армованих GFRP арматурою, на 12%. Отже, збільшення відсотка армування перерізу є одним із способів збільшення жорсткості згинних елементів, армованих композитною арматурою.

Таблиця 1

Прогини балок, армованих GFRP арматурою, залежно від відсотка армування перерізу [6]

№ зразка	Вид арматури	Відсоток армування перерізу (μ), %	Руйнівний момент (M), кН·м	Прогин (f) у середині прольоту, мм
1	GFRP	0,5	19,32	24,50
2	GFRP	1,0	20,37	21,30
3	GFRP	1,5	21,21	19,60
4	GFRP	2,0	23,10	15,80

Останній спосіб підвищення жорсткості балок хоча й показує певну ефективність, але не завжди є прийнятним з економічних міркувань. Збільшення відсотка армування обов'язково призведе до збільшення кінцевої вартості продукції. Описуване зростання несучої здатності зразків зі збільшеним відсотком армування можливе лише за умови використання високоміцних бетонів, що не завжди потрібно за розрахунком і призводить до збільшення вартості таких конструкцій.

Крім описаних методів збільшення жорсткості згинних конструкцій, армованих композитною арматурою, останнім часом проводяться дослідження способу змішаного армування, коли в розтягнутій зоні, крім композитної арматури, розташовують один або декілька стержнів металевої арматури. Таке армування має на меті використання кращих властивостей обох видів арматури – високої міцності композитної арматури та жорсткості металевої. На сьогодні, практично відсутні відомості про експериментальні дослідження такого роду конструкцій, які б велися на теренах нашої країни. Існує дуже обмежена кількість відомостей, опублікованих в іноземних видавництвах. Зважаючи на те, що базальтова арматура (BFRP) не так давно з'явилася на ринку будівельних виробів, дані про роботу конструкцій зі змішаним армуванням базальтовою та металевою арматурою майже відсутні.

Постановка завдання. Дослідження напружено-деформованого стану балок, армованих базальтовою арматурою (BFRP), балок зі змішаним армуванням базальтовою та металевою арматурою одночасно потребують проведення відповідних експериментальних випробувань. У зв'язку з цим потрібно спланувати експеримент, запроєктувати та виготовити експериментальні зразки балок для подальших досліджень.

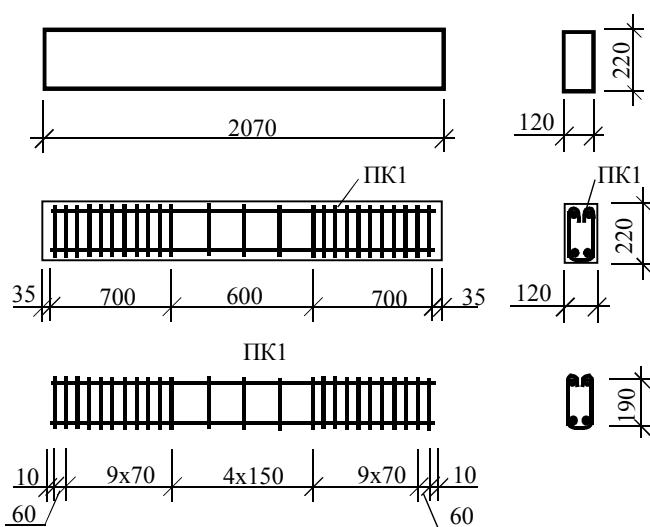


Рис. 2. Схема армування дослідних зразків балок контрольної серії

Викладення матеріалу та результати. В Україні розроблено та діє нормативний документ [16], відповідно до якого повинно здійснюватися проектування конструкцій, виготовлених із використанням базальтової чи склопластикової арматури. Користуючись настановами та рекомендаціями останнього (п. 5 та п. 11 [16]), зважаючи на технологічні можливості виготовлення зразків балок, було прийнято їх геометричні розміри та запроєктовано армування (рис. 2).

Програмою випробувань передбачено виготовлення трьох серій зразків балок (табл. 2). Ар-

мування зразків мало на меті досягнути руйнування балок контрольної серії внаслідок руйнування розтягнутої арматури. Для можливості коректного порівняння результатів випробувань відсоток армування перерізів балок та клас бетону прийнято однаковим для зразків усіх серій. При армуванні використано базальтову арматуру АКБ800 (АНПБ) виробництва ТОВ "Технобазальт-Інвест". Зважаючи на те, що зразки густоармовані для бетонування, прийнято дрібнозернистий бетон. Клас міцності бетону на стиск - С25/30. Для визначення характеристик міцності та деформативних властивостей бетону передбачено бетонування зразків кубів і призм.

Таблиця 2

Програма експериментальних випробувань дослідних зразків балок

№ серії	Маркування балок	Матеріали балок	Поперечний переріз балок	Мета випробування
1	БМ-1 БМ-2 БМ-3	Балки, виготовлені з робочою металевою арматурою (контрольна серія)		Визначення міцності, жорсткості та тріщиностійкості короткочасними випробуваннями
2	ББ-1 ББ-2 ББ-3	Балки, виготовлені з робочою базальтовою арматурою АКБ800 (АНПБ)		Визначення міцності, жорсткості та тріщиностійкості короткочасними випробуваннями
3	БМБ-1 БМБ-2 БМБ-3	Балки, виготовлені зі змішаним армуванням металевою (А400) та базальтовою (АКБ800 (АНПБ)) арматурою одночасно		Визначення міцності, жорсткості та тріщиностійкості короткочасними випробуваннями

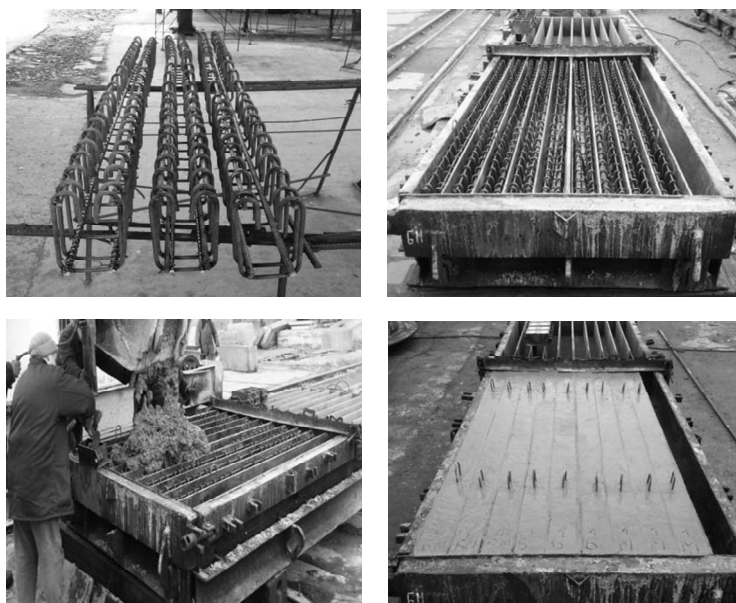


Рис. 3. Формування дослідних зразків балок

Виготовлення арматурних каркасів, бетонної суміші та бетонування дослідних зразків балок відбувалося в заводських умовах на потужностях ПАТ «Криворіжіндустрбуд». Бетонування експериментальних зразків балок, кубів проводили в металевих формах (рис. 3). Перед бетонуванням поверхню форм змащували тонким шаром гідрофобної змазки. У форми встановлювалися в'язані просторові каркаси. Проектне положення каркасів, для забезпечення утворення захисного шару бетону, здійснювалося за допомогою бетонних прокладок. Приготування бетонної суміші виконувалося на бетонно-розчинному вузлі. Укла-

дання суміші в опалубку здійснювалося за допомогою бадді з подальшим ущільненням на вібростолі (рис. 3). Після формування зразки поміщали в камеру для прогрівання. Розпалубка останніх відбувалася через 28 діб після бетонування.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Базальтова арматура є ефективною заміною металевої арматури при виготовленні будівельних конструкцій. Підвищена міцність та хороші антикорозійні властивості дозволяють створювати вироби з високими експлуатаційними характеристиками, підвищувати надійність та довговічність будівель і споруд. У той же час знижений модуль пружності даної арматури потребує додаткових конструктивних заходів з підвищення жорсткості конструкцій, армованих нею. Змішане армування є потенційно ефективним методом зниження деформативності конструкцій, армованих композитною арматурою, але дане твердження потребує додаткових експериментальних випробувань.

Напрямок подальших досліджень полягає в з'ясуванні напружено-деформованого стану дослідних зразків балок шляхом їх короткочасних випробувань статичним навантаженням.

Список літератури

1. Mohammad Addul Kader, "Mechanical behavior of multi-row bolted connections of woven fabric GFRP structural members", PhD thesis, University of Nagoya, Japan, 197pp.
2. **Валовой О.І., Єрмоєнко О.Ю., Валовой М.О., Волков С.О.** Особливості роботи базальтової арматури у складі конструкцій що працюють на згин // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. / Рівне: НУВГП, 2017. – Випуск 34. с. 103-110.
3. **R. Murugan, G. Kumaran**, 2016. "Flexural Behaviour of Sand Coated GFRP Reinforced Flanged Beams". International Journal of Science and Engineering Investigations, vol. 5, issue 57, October 2016, 32-37.
4. **Maher A. Adam, Mohamed Said, Ahmed A. Mahmoud, Ali S. Shanour**, 2015. "Analytical and experimental flexural behavior of concrete beams reinforced with glass fiber reinforced polymers bars". Journal of Construction and Building Materials, 84, 354-366.
5. **Mostafa A. T. El-Mogy**, "Behaviour of Continuous Concrete Beams Reinforced with FRP Bars", PhD thesis, University of Manitoba, Canada, 2011, 282pp.
6. **Chidananda S. H., Khadiranaikar R. B.** 2017. "Flexural Behaviour of Concrete Beams Reinforced With GFRP Rebars". International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology, vol. 3, 119-128.
7. **D. Shantha Kumar, R. Rajkumar**, 2016. "Experimental investigation on flexural behavior of concrete beam with glass fibre reinforced polymer rebar as internal reinforcement". [International Journal of Chemical Sciences](#), 14(S1), 319-329.
8. **G Naveen Kumar, Karthik Sundaravadivelu**. 2017. "Experimental Study On Flexural Behaviour Of Beams Reinforced With GFRP Rebars". IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 80, 1-11.
9. **R. Sivagamasundari and G. Kumaran**, 2008. Effect of Glass Fibre Reinforced Polymer Reinforcements on the Flexural Strength of Concrete One Way Slabs under Static and Repeated Loadings. Asian Journal of Applied Sciences, 1: 19-32.
10. **S.Vivekanand*, A. Sumathi**, 2015. "Static Behaviour of Concrete Beams Reinforced in Shear with GFRP Bars". International Journal of ChemTech Research, Vol.8, No.2, pp 635-642.
11. **El-Salakawy, E., Kassem, C. et Benmokrane, B.** (2002). Flexural behaviour of concrete beams reinforced with carbon FRP composite bars. Dans Canadian Society for Civil Engineering - 30th Annual Conference: 2002 Challenges Ahead, June 5, 2002 - June 8, volume 2002. Canadian Society for Civil Engineering, Montreal, QB, Canada, p. 2025-2033.
12. **OSPINA, C. E. et BAKIS, C. E.** (2007). Indirect Flexural Crack Control of Concrete Beams and One-Way Slabs Reinforced with FRP Bars. Proceedings of FRPRCS, volume 8,
13. **Коваль П. М., Гримак О. Я.** Вплив малоциклових навантажень на роботу бетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. пр. / Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазяряна. – Д., 2016. - №10. с. 35-42.
14. **Солдатченко, О. С.** Міцність, жорсткість та тріщиностійкість згинальних конструкцій зі склопластиковою і базальтопластиковою арматурою : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / **Солдатченко Олександр Сергійович**. – Київ, 2012. – 196 с.
15. **Валовой О.І., Єрмоєнко О.Ю., Валовой М.О., Волков С.О.** Програма випробувань дослідних зразків балок зі змішаним армуванням базальтовою та металевою арматурою // Гірничий вісник : наук.-техн. зб. / Кривий Ріг: КНУ, 2017. – Випуск 102. с. 169-173.
16. ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012 Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу. – К.: Мінрегіон України, 2012. – 34с.

Рукопис подано до редакції 07.05.2018

В.А. ДВОРНИКОВ, Н.П.МЕЛЬНИЧЕНКО, О.В.ШАМРАЙ, кандидати техн. наук, доценти
Криворізький національний університет

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИВЧЕННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ТА ЗАГАЛЬНОІНЖЕНЕРНИХ ДИСЦИПЛІН В УМОВАХ ПЕРЕБУДОВИ ТЕХНІЧНОЇ ОСВІТИ

Мета роботи є продовження дискусії щодо антикризових дій при вивченні фундаментальних та загально-інженерних дисциплін на прикладі дисциплін «Нарисна геометрія» та «Інженерна графіка». А також розкрити сутність зв'язку між сучасним станом методологічної парадигми загально-інженерних дисциплін та кризовими явищами у сприйнятті цих дисциплін в цілому на різних рівнях освіти. А також розробити рекомендації щодо забезпечення розвитку дисципліни в сучасній освіті.

Дослідження. Для досягнення поставленої мети використовувалися методи аналізу теорії та практики відомих теоретичних досягнень з даного питання. Виконано аналіз результатів анкетування студентів перших та других курсів. Проаналізовано, як впливає рівень шкільної підготовки з дисципліни «Креслення» на подальшу якість навчання у вищому навчальному закладі.

Наукова новизна роботи полягає у дослідженні взаємозв'язку дисциплін, які викладаються у школі та дисциплінами, які будують фундамент інженерної підготовки сучасних фахівців, та їх вплив на якість освіти на прикладі дисциплін «Нарисна геометрія» та «Інженерна графіка». Проведено порівняльний аналіз системи освіти на прикладі країн з високим рівнем економічного зростання.

Практична значимість роботи полягає у розробці рекомендацій щодо розробки інтеграційних планів середньої та вищої школи з даної дисципліни, що на думку авторів приведе до покращення знань студентів. Визначено необхідність регульованого створення цілісної педагогічної платформи фундаментальних дисциплін та трансформації інженерної підготовки.

Результати. Проведені дослідження допомагають зрозуміти проблеми сучасної освіти, та розробити кроки по подоланню кризових явищ. Результати проведених досліджень допоможуть у розробці нової методології викладення фундаментальних і загально-інженерних дисциплін, що сприятиме розвитку логічного мислення та просторової уяви майбутніх фахівців.

Ключові слова: інженерна графіка, інженерна освіта, інженерна підготовка, методологія, фундаментальні дисципліни, анкетування, креслення, показники успішності.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-163-168

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сьогодні перед вищою школою стоїть завдання побудови системи освіти таким чином, щоб не тільки підготувати з молодого людини фахівця, але й спонукати його до постійного навчання, самовдосконалювання протягом всього життя.

На сучасному етапі розвитку суспільства важливого значення набуває відповідність змісту освіти вимогам часу, тим змінам, що відбуваються в економічному та культурному житті країни.

Реформована освіта повинна звільнити суспільство від консерватизму і тим самим допомогти йому подолати розрив між старим і новим. Одна з найважливіших проблем вищої освіти – оптимальне співвідношення загальноосвітніх, фундаментальних та спеціальних дисциплін, поворот освіти до цілісної картини життя і перш за все - до світу культури, світу людини, формування її системного мислення. Забезпечити успішне майбутнє існування людини в світі можуть теоретичні, фундаментальні знання. На шляху вирішення цієї проблеми постають дві найважливіші задачі. По-перше, необхідність посилення природничо-наукової підготовки, особливо з дисциплін математичного циклу та нових інформаційних технологій, без засвоєння яких людина не може увійти в інформаційне суспільство. По-друге, усвідомлення ролі та значення дисциплін фундаментального та гуманітарного циклів – визнання людини за найвищу соціальну цінність, повага до особистості, створення умов для розкриття здібностей, логічного мислення та технічної творчості.

Для того, щоб дипломи громадян України відповідали загальноєвропейським стандартам і мали вагу в Європі, необхідно вже сьогодні зробити ряд вирішальних кроків, і середніх, - провести корінну реформу середньої освіти; здійснити важливу роботу зі створення та наближення навчальних планів і робочих програм усіх ключових для конкретної спеціалізації дисциплін відповідно до вимог провідних університетів. Адже освіта формує особистість у всій її багатомірності, а не просто дає знання і професію [1].

Аналіз досліджень і публікацій. Сучасна якісна інженерна освіта має забезпечити можливість застосування випускниками ВНЗ знань у науці, інженерії, технології в різних галузях економіки країни безпосередньо після закінчення навчання в університеті.

Показовою є освіта в Японії, досягнення якої в науці і техніці займають ведучі світові позиції. Японці приділяють постійну увагу навчання і вихованню з певною специфікою і акцентами. Так, у спеціалістів середньої кваліфікації виробляється акуратність у виконанні завдань. Студенти багато часу витрачають на розвиток пам'яті, а також на покращення здоров'я і фізичної витривалості. Що стосується спеціалістів вищої кваліфікації, то основна увага приділяється вивченню фундаментальних наук, на базі яких формується майбутній спеціаліст. Більшість японців працюють усе життя на обраній фірмі, а фірма в свою чергу піклується про достаток і добробут своїх працівників. Фірма в обов'язковому порядку пропонує інженерові почергово попрацювати на різних посадах і ділянках. Це робиться задля зацікавленості працівника в роботі, підвищення його кваліфікації і разом з тим результатів його праці. Швидка і безболісна перекваліфікація можлива тільки за умови глибоких знань фундаментальних наук. Американська Рада інженерів з професійного розвитку (American Engineers Council for Professional Development (ECPD) дає таке визначення терміна «інженерія»: «Творче застосування наукових принципів для проектування або розроблення структур, машин, апаратури, виробничих процесів, або робота з використання їх окремо чи комбіновано; конструювання або керування ними з повним знанням їх дизайну; передбачення їх поведінки в певних експлуатаційних рішеннях».

Постановка задачі. В статі розглянуто питання, як за умов, що склались з освітою в нашій державі не тільки не втратити, але й нарощувати рівень підготовки фахівців. Без сумніву, однією з важливих складових у вирішенні цього питання є рівень фундаментальної підготовки студентів. Питання терміну «фундаментальні науки» впродовж тривалого часу дебатовалось, так як дехто відносить до фундаментальних тільки теоретичні науки, що приводить до протиставлення їх прикладним наукам. Фундаментальними, безумовно, являються ті науки, які служать опорою чи основою для всієї решти курсів і без міцного засвоєння яких структура вищої освіти виявляється нетривкою. На основі фундаментальних дисциплін слід читати інші курси. Адже фундаментальні курси повинні дати суму знань, які дозволили б майбутньому спеціалісту вирішувати складні задачі з загальнотеоретичних позицій, а більш детально повинні викладатися спеціальні курси.

В сучасних умовах більшість вищих навчальних закладів має статус університету. Сильною стороною класичного університету завжди був високий рівень гуманітарної та науково-дослідної підготовки. Інститути інженерного профілю давали міцні знання технологічних процесів та способів і засобів виробництва. І все це знаходить пояснення в тому, що в навчальних планах інженерної спеціальності співвідношення фундаментальних дисциплін до фахових складало 4:1, що відповідало загальноприйнятим нормам для вузів нашої країни [2].

Поверхневі знання інженерних наук, виробництва завжди були слабкою стороною університетської освіти. Сучасні технічні університети ставлять за мету оволодіння системою знань про наукові основи сучасного виробництва. Таким чином, сама назва засвідчує на спорідненість освіти і виробництва.

Сьогодні перед нашою вищою школою постали нові проблеми. В нових умовах ми повинні вчити студентів вирішувати прикладні задачі, базуючись на знаннях із загально-інженерних та фундаментальних дисциплін. А так як політехнічні і технологічні вузи разом із класичними університетами отримали статус національних, то кожен з цих трьох категорій вузів повинен прикласти зусиль, щоб вирівняти підготовку кадрів, тобто одним розширити кваліфікаційну підготовку, іншим приблизити навчання до практики, до виробництва [1].

Світовий досвід, що конкурентоспроможні технології можуть забезпечити тільки науковці-дослідники, інженери, технологи з міцною природничо-математичною освітою, які здатні миттєво-швидко зрозуміти і опанувати сучасні теоретичні основи новітніх розробок і вибороти у конкурентів світового ринку високотехнологічних продуктів.

Якісна інженерна освіта має забезпечити можливість застосування випускниками ВНЗ знань у науці, інженерії, технології в різних галузях економіки країни безпосередньо після закінчення навчання в університеті.

В передових університетах світу до 70% навчальної програми бакалаврів, магістрів Ph-докторів приділяється набуттю випускниками навиків, умінь, досвіду і здібностей, які забезпечують швидку реалізацію на практиці отриманих ними знань.

Людині з вищою освітою за життя іноді доводиться кілька разів змінювати профіль роботи, а це можливо тільки завдяки належній фундаментальній та загальноінженерній підготовці. Тому розвинуті країни своїм головним матеріальним ресурсом і надбанням вважають інтелект (людський капітал) і успішно продають результат розумової праці, насамперед технології (мережні, оптичні, бездротові), інтернет – технології, нанотехнології та інші. Причому з світовими лідерами США, Японією успішно в цьому напрямку конкурують невеликі за кількість населення країни: Фінляндія, Швеція, Ісландія, Шотландія та ін.

Головний вектор розвитку високоінтелектуальних країн – лідерів спрямований на пошук шляхів прискорення побудови суспільства знань, економіка якого базується на високих технологіях, створених на вершинних досягненнях природничих наук. Ідеологія світової формули: «вища освіта + точні науки» сьогодні не тільки актуальна і важлива, але є єдиною надійною і не замінимою основою для розв'язання соціально-економічних проблем кожної країни.

В Україні останнім часом відбулося суттєве ослаблення зв'язків технічних університетів з виробничими підприємствами. Раніше студенти під час проходження виробничих практик, особливо коли вони були добре організовані, мали можливість спостерігати за реальною інженерною діяльністю, брати в ній участь, освоювати її.

Усі ці чинники здебільшого не сприяють реалізації цільової функції інженерної освіти – підготовки випускника до соціально-відповідальної інженерної діяльності.

В умовах сучасного розвитку техніки у всіх галузях людської діяльності загальновизнане значення графічної грамотності для формування знань і вмінь, необхідних для успішної практичної діяльності не тільки майбутнього інженера, але й кваліфікованого робітника.

Науково-технічний прогрес наразі дозволив створювати автомати, які замінюють людей на важких і монотонних ручних операціях. Автоматизовані маніпулятори надають можливість значно збільшити продуктивність праці. Оволодіти сучасною складною технікою без умінь читати креслення неможливо.

Процес графічної підготовки студентів вищих технічних навчальних закладів освіти ускладнений низкою об'єктивних і суб'єктивних чинників [4]. Головний із них є вилучення із навчальних планів загальноосвітньої школи предмета «Креслення». Тому у студентів технічних спеціальностей повністю відсутня довузівська графічна підготовка.

Сьогодні в технічній та економічній освіті спостерігається дисбаланс в кількості дисциплін, що розвивають мислення. У ВУЗах, які дають економічну освіту в навчальний процес вводяться дисципліни, що дозволяють навчити студента аналізувати, приймати самостійні рішення використовуючи при цьому всілякі методи моделювання. У той же час в технічних - відбувається скорочення навчального процесу за рахунок таких фундаментальних дисциплін як математика, фізика, інженерна графіка.

У школах перестали діяти професійно-спрямовані заходи, що ускладнює випускнику вибір майбутньої професії. Багато хто з них здобувають вищу освіту за професією, яку нав'язали їм батьки, і як правило більша частина покидає навчання та працює у сфері послуг.

Протистояти тенденції витіснення геометрії і графіки з освітньої системи потрібно переглянувши зміст дисциплін [5], при цьому необхідно активно вводити в навчальний процес комп'ютерне моделювання паралельно з нарисною геометрією та інженерною графікою, а не за рахунок скорочення цих важливих для розвитку логічного мислення дисциплін.

Геометрія важлива люду, як фундаментальна наука. Згадаємо афоризм Платона на дверях школи: «Не знаючий геометрії не допускається!». Тому наше завдання полягає в тому, щоб докласти максимум зусиль для її відродження і розвитку, як одного з найважливіших елементів знань сучасної людини. Це одне з головних умов прогресу всього людства.

Викладення матеріалу та результати. В сучасних умовах людської діяльності зростає значення графічної грамотності спеціалістів технічного профілю. В радянській школі усіх рівнів (середня загальноосвітня, середня технічна і вища технічна) методичним аспектам викла-

дання графічних дисциплін приділялась велика увага і предмет «Креслення» був обов'язковий у загальноосвітніх школах. Відносно нарисної геометрії загальновідомо, що цей курс є одним із важко засвоєваним першокурсниками технічних ВНЗ. В останні роки «Креслення» не входить до переліку обов'язкових дисциплін загальноосвітньої школи, а у вищій школі на вивчення нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки щорічно зменшується загальний обсяг годин і аудиторних занять з одночасним збільшенням годин на самостійну роботу. Але необхідно враховувати що, подача навчального матеріалу студентам, його зміст, послідовність викладання мусять забезпечувати дотримання головних дидактичних принципів: систематичність і послідовність, доступність і науковий підхід та ін. Тому, для засвоєння основних положень нарисної геометрії та технічного креслення треба мати повний обсяг астрономічних годин, яких недостатньо упродовж одного тільки першого семестру.

За останні роки спостерігається суттєве зниження графічної і геометричної грамотності абітурієнтів. Значна частина першокурсників навіть не вміють користуватись креслярським інструментом, прочитати проєкційний креслення простих геометричних тіл.

Загальновідомо, що креслення є мовою техніки, а геометрія – це правитель усіх розумових вишукувань. Тому, виключення предмета «Креслення» із навчальних планів загальноосвітньої школи, скорочення аудиторних занять з інженерної графіки та нарисної геометрії у вищій школі призведе до того, що випускники ВНЗ не будуть володіти мовою техніки, не матимуть просторової уяви і просторового мислення без яких неможлива технічна та проєктна творчість [7].

Курс інженерної графіки викладається на першому курсі і має бути логічним продовженням шкільного курсу методів проєкціювання. Крім певних знань школа має допомагати учням у визначенні з майбутньою професією, а також навчити самостійно працювати та планувати свій вільний час.

Аналіз проведених досліджень показав, що існують певні проблеми. Для їх виявлення були проведені дослідження, щоб визначити шляхи їх вирішення.

Було проведено анкетування 300 студентів. Результати анкетування показали, що сутність вибраної професії розуміють 76,1 %, не розуміють – 8,9 %, не визначилися, або не відповіли на це запитання – 16,2 % (40 осіб опитаної сукупності). Абсолютна більшість студентів свідомо вибрала майбутню професію. Частина студентів, які вступили до університету за власним бажанням складає 65,2 %, за рекомендацією друзів та батьків – 15,4 %, решта 19,4 % - не відповіли на це запитання.

Цікаво, що більше половини (51,8 %) сукупності опитаних студентів вважають, що їх шкільна підготовка недостатня для розуміння і освоєння загальної інженерних дисциплін, 16,6 % не дали відповіді, і тільки 31,6 % вважають, що їх шкільна підготовка достатня для подальшого вивчення зазначених дисциплін.

Випускники загальноосвітніх шкіл складають 51,4 % студентів, ліцеїв, коледжів та технікумів – 30 %, не відповіли на запитання 18,6 %.

Предмет «Креслення» у школах вивчали 32,1 %, в тому числі як окремий предмет – 14,2 % і факультативно – 4,5 %; 33,2 % вивчали у професійних коледжах та технікумах, а 34,7 % не дали відповіді. Близько 51,8 % студентів назвали складними для розуміння навчальні дисципліни нарисну геометрію та інженерну графіку, 12,6 % - вищу математику, 5,7 % - хімію, 4,5 % фізику. Не дали відповіді на це питання – 25,4 % опитаних.

Із дисциплін, що викладаються у ВНЗ сприймають найкраще: інженерну графіку – 11,7 % опитаних, вищу математику – 9,3 %, фізику – 5,7 % студентів, ніякі дисципліни – 11,7 %, не дали відповіді – 61,6 %. Ще одне анкетування було проведено на кінці семестру. Результати показали збільшення студентів, які найкраще сприймають інженерну графіку в двічі. Це свідчить про те, що складність у сприйнятті матеріалу викликана відсутністю початкових знань, що мала забезпечити школа.

Останні цифри дозволяють стверджувати, що успішність студентів залежить від рівня шкільної підготовки до інженерної освіти. Це підтверджується великою кількістю незадовільних оцінок, отриманих студентами за результатами екзаменів та заліків з нарисної геометрії та технічного креслення, як у минулі, так і в останні роки особливо.

Слід відмітити, що сприйняття матеріалу випускниками технічних коледжів значно краще ніж випускниками шкіл. Це відбувається тому, що такі навчальні заклади працюють за інтегральними планами. В такому випадку існує логічна послідовність засвоєння матеріалу.

До зимової заліково-екзаменаційної сесії 2016-2017 н.р. частка студентів досліджуваної виборки, не готових до підсумкового контролю знань складала майже 54 %, (75% студентів, які не вивчали «Креслення» у школі). через відсутність домашніх графічних завдань та незадовільних оцінок з контрольних модульних робіт. У 2017-2018 н. р. цей процент дещо зменшився і склав 63%.

Загальнотеоретичні та фахові знання тих, хто навчається, засвоюють по-різному, що призводить до необхідності вирішення на практиці проблеми індивідуалізації.

Індивідуалізація навчання - одна із найскладніших проблем вищої освіти, вирішення якої в значній мірі залежить від двох чинників: індивідуально-психологічних особливостей студентів та впровадження відповідної методичної системи навчання.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Отже, впливає однозначний висновок: освітні стандарти Європи і переважної більшості учасників Болонського процесу значно вищі за українські. Саме цей факт необхідно враховувати нашим вищим навчальним закладам при складанні навчальних планів, в інженерній освіті. Особливо необхідне підвищення рівня фундаментальних та загально інженерних дисциплін в навчальних закладах. Інтерес до цих наук впав до загрозливо небезпечного рівня. Ситуація не лише тривожна, а й справді загрозлива. Для подолання антикризових явищ необхідне впровадження оновленої парадигми викладання геометрії та графіки за такими напрямками:

1. Розробити інтегральні плани вивчення дисципліни у школі та вищому навчальному закладі.
2. В системі шкільної освіти посилити рівень освіти по розвитку просторової уваги -, класичної геометрії, основ проєкціювання та основ комп'ютерної графіки.
3. В системі вищої освіти викладання даної дисципліни зробити орієнтованою на поглиблений курс компютерно – графічних технологій та застосовувати прикладну геометрію в фундаментальних курсах математичних та прикладних науках.
4. Вищий навчальний заклад мусить так удосконалити організацію навчального процесу та методичного забезпечення так, щоб студент переконався свідомо працювати 3-4 години щоденно у позаурочний час над вивченням програмного матеріалу; не пропускати аудиторні заняття, консультації; приймати участь у громадському житті.
5. Щоб заохотити студента до навчання та навчити вести професійний діалог необхідно окрім планових консультацій активізувати роботу технічних гуртків та впроваджувати ділові ігри, за участь в яких збільшити кількість балів для отримання оцінки.

Список літератури

1. **Мартиненко М.А., Мартиненко В.П., Ткачук А.М.** Роль фундаментальних наук в сучасній інженерній освіті України // Збірник науково-методичних робіт. - Вип. 7. - Донецьк: ДонНТУ, 2011. - С. 218-222.
2. Національна парадигма сталого розвитку України / за заг. ред. академіка НАН України, д.т.н., проф., Засл. діяча науки і техніки України **Б.С. Патона**. – К.: Державна установа "Інститут економіки природокористування та сталого розвитку Національної академії наук України", 2012. – 72 с.
3. **Плоский В.О.** Стійкість графічних дисциплін у зовнішньому середовищі - методологічна проблема // Технічна естетика і дизайн. Київ: 2008.- С. 11-17.
4. **Смульсон М.Л.** Психологія розвитку інтелекту. – К., 2001. – 198-223 с.
5. **Мельниченко Н.П.** Геометризація і гуманітаризація? Що може допомогти економіке вийти із кризи? // Геометрическое моделирование и компьютерные технологии: теория, практика, образование. Материалы У1 Международной научно-практической конференции. Харьков: 2009. – С. 269 - 275.
6. **Резник Т. І.** Психологічний зміст труднощів у навчанні студентів - першокурсників // Практична психологія та соціальна робота №1 2002. с. 1-32.
7. **Бохонкова Ю.О.** Социально - психологическая адаптация студенчества в условиях вуза // Теоретичні і прикладні проблеми психології № 2 (7) 2004–С. 138 – 149.
8. **Верхола А.П., Коваленко Б.Д.** та ін. Інженерна графіка: креслення, комп'ютерна графіка, – К.: Каравела, 2006–304 с.
9. **Михайленко В.С., Ванін В.В., Ковальов С.М.** Інженерна графіка.–Київ: 2002– 332 с.
10. **В.С. Михайленко, В.Н. Найдиш, А.М. Підкоритов, А.І. Скідан.** Інженерна та комп'ютерна графіка: Підручник - К.: Вища школа, 2001.–346 с.

Рукопис подано до редакції 23.03.2018

В. А. ФЕДОТОВ, ст. преподаватель, А. Б. СЁМОЧКИН, канд. техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ВАГОНЕТОК ЭЛЕКТРОВЗОСОСТАВОВ ПРИ ПОГРУЗОЧНО–РАЗГРУЗОЧНЫХ ОПЕРАЦИЯХ В УСЛОВИЯХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТ КРИВБАССА

Цель. В настоящее время в железорудных шахтах Кривбасса среди локомотивов шахтного рельсового транспорта преимущественное распространение имеют контактные виды электровозов постоянного тока с релейно-контакторной системой управления. Такая система привода устарела и не соответствует современным требованиям уровня экономичности и технологичности обслуживания. Однако при отсутствии средств на кардинальное обновления парка электровозов, в качестве одного из вариантов модернизации данных видов электровозов, а также систем их тягового привода, является автоматизация погрузочно-разгрузочных работ электропоездов в подземных условиях железорудных шахт.

Методы. При оценке возможностей автоматизации точного позиционирования вагонеток использовались некоторые теоретические положения прикладной механики, физики, элементы теории автоматического управления электроприводами, элементы теории электрических машин, методы дискретного преобразования сигналов, методы математического моделирования.

Научная новизна. В настоящее время, невзирая на долгую историю использования электровозов постоянного тока с релейно-контакторным управлением, отсутствуют результаты детальных исследований динамических режимов методами математического моделирования. Несмотря на то, что указанные системы привода во всем мире устарели, в условиях Кривбасса до сих пор актуальными являются задачи частичной модернизации прежней системы привода электровозов для повышения экономической эффективности их использования.

Практическое значение. Автоматизация точного позиционирования вагонеток при погрузочно-разгрузочных операциях предполагает интенсификацию использования внутришахтного транспорта на базе старого оборудования, создание эффективной системы управления тяговым электроприводом, на базе которой должна строиться система управления работой всего тягового комплекса электровоза как в ручном, так и автоматическом режимах.

Результаты. В статье приведены результаты исследований динамических процессов в электровозосоставе с электроприводом постоянного тока с релейно-контакторным управлением и результаты оценки перспективы модернизации тягового электропривода с помощью автоматизации точного позиционирования вагонеток под разгрузку, в условиях железорудных шахт Кривбасса.

Ключевые слова: контактный электровоз, переходные процессы, двигатели постоянного тока, точное позиционирование.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-168-173

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Основным видом транспорта отечественных горнометаллургических предприятий с технологиями подземного ведения работ является электровозный, обеспечивающий 100% грузоперевозок товарной железной руды [1]. В общем объеме энергопотребления подземных предприятий доля внутришахтного транспорта на ряде шахт достигает 29 % от общего объема энергопотребления [1].

Анализ исследований и публикаций. За все годы использования в Украине на шахтном электровозном транспорте систем привода релейно-контакторной системы управления – двигатель постоянного тока исследования проводились в основном по двум направлениям – динамика системы электропривода [2, 3, 4] и динамика шахтного электровозосостава [5]. В комплексе с учетом взаимовлияния между двумя системами исследования практически не проводились, за исключением Элиса, и то применительно к электровозу с единственным коксотушильным вагоном [6].

Постановка задачи. Как известно, операции передвижения вагонеток под разгрузку выполняются машинистом электровоза по командам специального рабочего снаружи. Учитывая возможные трудности коммуникации между двумя работниками, их произвольно случайное психофизическое состояние, а самое главное – отсутствие плавности управления двигателями электровоза, становится ясным, что операции перестановки под разгрузку и погрузку иногда довольно часто выполняются не оптимально – с ошибками позиционирования, или потерей времени на точное позиционирование. Ситуацию осложняет то обстоятельство, что в сцепных устройствах электровозосоставов имеются значительные люфты. Если с помощью автоматизации сократить время выполнения этих работ, то можно интенсифицировать работу шахтного транспорта в целом, тем самым повышая экономичность его использования.

Изложение материала и результаты. В расчетах использовались модели электровозосостава – электровоза и вагонеток, учитывающих упругие и вязкие свойства как электровоза и вагонеток, так и аппарата сочленения.

Процессы, протекающие в механической системе шахтного электровозосостава, описываются системой дифференциальных уравнений.

Дифференциальное уравнение движения электровоза

$$m_{EL} \times \frac{dV_{EL}}{dt} = F_{ДВ} - F_{СТ1} - F_{Y1} - F_{TP1}. \quad (1)$$

Дифференциальное уравнение движения n -й вагонетки

$$m_{BN} \times \frac{dV_{BN}}{dt} = F_{Y(N+1)} - F_{CTN} - F_{YN} - F_{TPN}. \quad (2)$$

Выражение для моделирования упругого усилия с учетом зазора в n -м сцепном устройстве

$$F_{Y1...YN} = \begin{cases} C \left(\Delta L_N - \frac{\delta_N}{2} \right); & \Delta L_N > \delta_N; \\ 0; & |\Delta L_N| \leq \delta_N; \\ C \left(\Delta L_N + \frac{\delta_N}{2} \right); & \Delta L_N < -\delta_N. \end{cases} + F_{BT1...N}. \quad (3)$$

Выражение, моделирующее силу вязкого трения в n -м сцепном устройстве

$$F_{BTN} = \beta(V_{BN} - V_{B(N-1)}). \quad (4)$$

Выражение, моделирующее силу сопротивления трогания n -й вагонетки, с дальнейшим спаданием по гиперболическому закону

$$F_{TPN} = F_{MAX}(V_{BN} + 1)^{-1}. \quad (5)$$

Дифференциальное уравнение для расчета величины деформации для n -го сцепного устройства

$$\frac{d\Delta L_N}{dt} = V_{BN} - V_{B(N-1)}, \quad (6)$$

где m_{EL} , m_{BN} – соответственно массы электровоза (с учетом приведенных масс электродвигателей) и вагонеток; C – коэффициент жесткости сцепки; V_{EL} , V_{NB} – линейные скорости электровоза и вагонеток; $F_{ДВ}$ – движущее усилие, приложенное к массе m_{EL} ; $F_{СТ1}$ – сила статического сопротивления, действующего на массу m_{EL} и m_{BN} .

Ниже (рис. 1) приведена общая модель исследуемой системы из электровоза и восьми вагонеток. На рис. 2 приведена структура модели электромеханической системы электровоза, в которой учтена кинематика передачи мощности от двигателей электровоза до вагонеток.

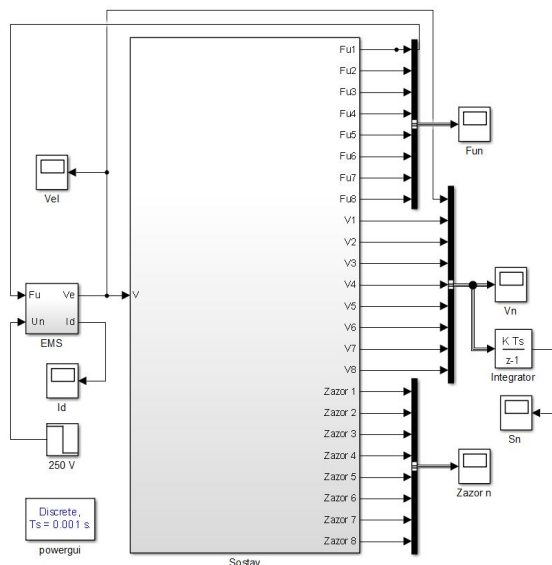


Рис. 1. Модель для исследования процессов перемещения и позиционирования шахтного электровозосостава из 8 вагонеток

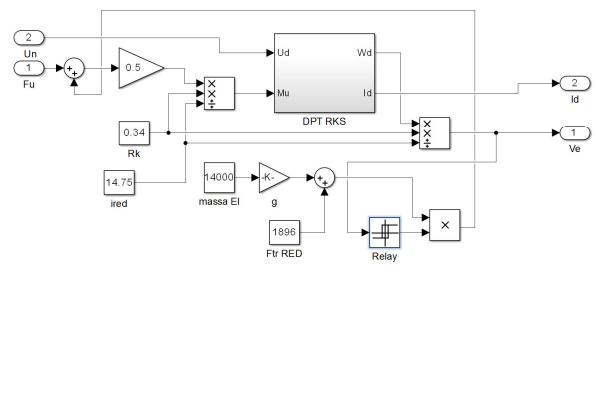


Рис. 2. Модель подсистемы EMS (электромеханическая система электровоза)

На рис. 3 приведена структура модели «релейно-контакторная система управления – двигатель постоянного тока», а на рис. 4 – структура для моделирования переключений релейно-контакторной системы электровоза.

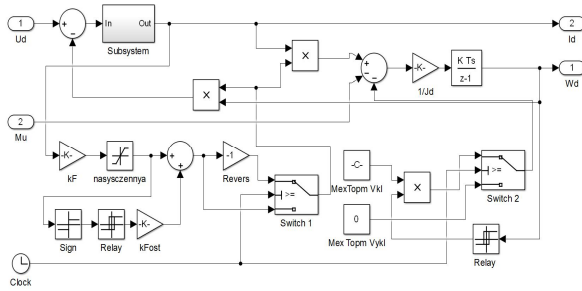


Рис. 3. Модель подсистемы DPT RKS

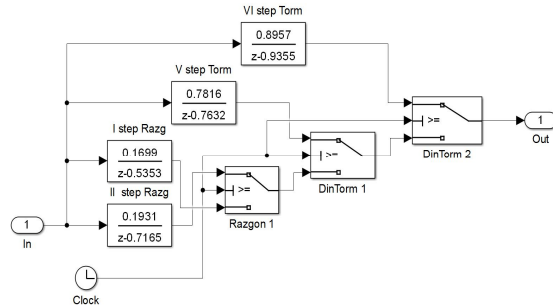


Рис. 4. Модель подсистемы Subsystem

Последние модели были построены на основании штатной принципиальной схемы системы привода «релейно-контакторная система управления – двигатель постоянного тока» рис. 5, а также диаграммы переключения контактов командоконтроллера табл. 1.

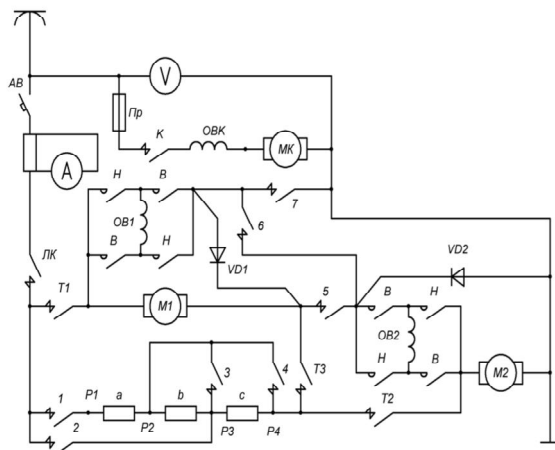


Рис. 5. Принципиальная силовая схема РКС-ДПТ

Таблица 1

Диаграмма переключений контактов командоконтроллера

Контакты	Режим работы																	
	тормозной						двигательный											
	VI	V	IV	III	II	I	0	1	2	3	4	5	X1	X2	X3	6	7	8
T2	X	X	X	X	X	X												
T1	X	X	X	X	X	X												
1	X	X		X	X	X	X	X	X	X								
ЛК								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3				X	X			X	X		X	X					X	X
4	X	X	X								X	X					X	X
T3								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	X	X	X	X	X	X										X	X	X
6								X	X	X	X	X	X	X	X			
7	X	X	X	X	X	X									X	X	X	X
8								X										

На рис.4 реализованы только две первые пусковые и две последние тормозные ступени командоконтроллера. Эти ступени выбраны не произвольным образом, а экспериментально на модели, исходя из решения задачи передвижения вагонеток на небольшой скорости под разгрузку. В реальных условиях шахты с помощью хронометрирования на месте разгрузки было установлено, что перемещение 2-х вагонеток (под двухместный опрокидыватель) идет приблизительно 20 секунд. Так как длина вагонеток типа ВГ-4,5 по буферам 3950 мм, то обе вагонетки перемещаются под разгрузку на расстояние 7,9 м при средней скорости $7,9/20 = 0,395$ м/с.

На первой разгонной ступени до 2,5-й секунды идет трогание электровозосостава, после чего оператор переводит рукоять командоконтроллера на вторую позицию, и электровоз разгоняется дальше. Далее на 16,4 секунде оператором осуществляется переключение с разгонного режима на режим динамического торможения (с реверсированием обмотки возбуждения), с дальнейшим последовательным переключением 2-х тормозных позиций командоконтроллера. При этом выключается питание двигателей (рис. 6), и они переводятся на режим динамического торможения. Ток двигателей электровоза при осуществлении всех этих переключений показан на рис. 7.

Как видно, последняя тормозная ступень командоконтроллера вызывает наибольший тормозной ток, что связано с практически коротким замыканием якорных цепей (полностью выводятся тормозные резисторы) на малой скорости. Впрочем, пиковое значение тока на этой скорости не превышает номинального значения 204 А для двигателей типа ДТН-45.

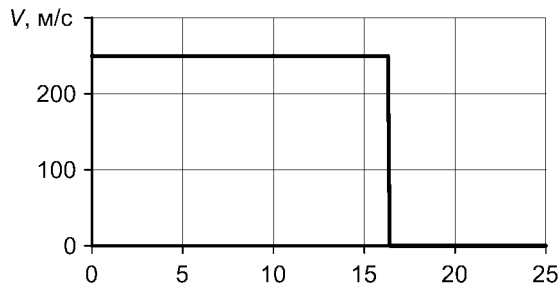


Рис. 6. График напряжения питания

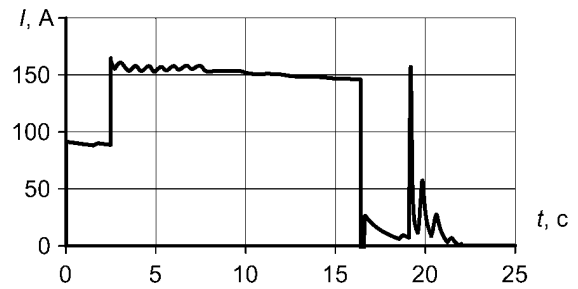


Рис. 7. График тока тяговых двигателей электровоза

Данный алгоритм управления (который осуществляется машинистом электровоза вручную, исходя из его профессионального опыта) приводит к перемещению всех вагонеток электровозосостава на 7,9 м, как это показано на рис. 8.

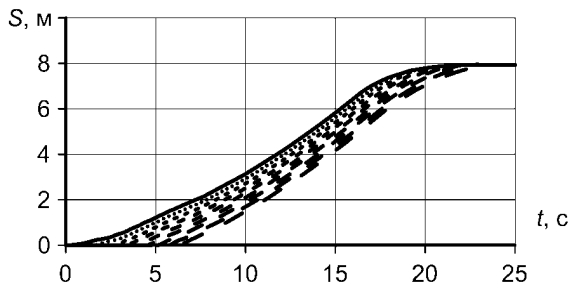


Рис. 8. Графики перемещений электровоза и восьми вагонеток состава

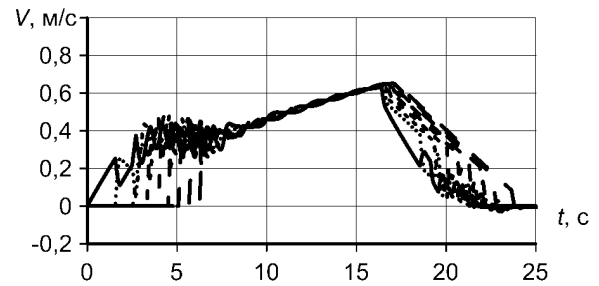


Рис. 9. Графики скорости электровоза и восьми вагонеток состава

Из рис. 9 хорошо видны затухающие колебания скорости вагонеток около значения текущей скорости электровоза, которая для наглядности приведена на отдельном рис. 10. При торможении каждая из этих вагонеток (рис. 11) перед полным остановом проходит какой-то путь на выбеге, прежде чем ударится о переднее сцепное устройство и остановится. Путь (и время) выбега нарастает по величине, от головы электровозосостава к его концу.

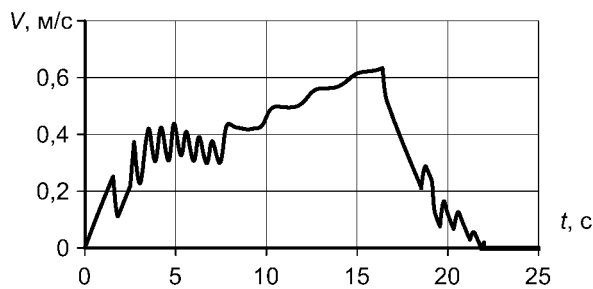


Рис. 10. График скорости электровоза

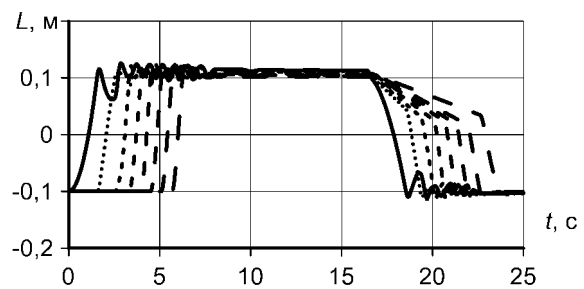


Рис. 11. Графики зазоров в сцепных устройствах

Из графика упругих моментов на сцепном устройстве электровоза (рис. 12) хорошо видны положительные по знаку удары, вызванные рывками вагонеток при трогании, «Нулевые» участки на графике означают, что сцепное устройство в промежуточном положении, то есть величина зазора в сцепном устройстве находится в диапазоне от -0,1 до +0,1 м (если считать начальным среднее положение сцепного устройства), что хорошо иллюстрируется на графиках зазоров в сцепных устройствах (рис. 11).

Отрицательные удары на графиках рис. 12 иллюстрируют удары в сцепном устройстве электровоза в моменты, когда вагонетки при торможении догоняют друг друга, и передают последовательно через себя импульс движения электровозу.

На рис. 13 видно, что при практически установившемся (равноускоренном, начиная с 7-й и заканчивая 17-й секундами) движении статические упругие усилия в сцепных устройствах

нарастают от хвоста электровозосостава до его головы, что вполне соответствует распределению нагрузок по сцепным устройствам. В заключение можно констатировать, что разброс ошибок позиционирования вагонеток (судя по рис. 9 или 11) относительно друг друга не превышает нескольких сантиметров.

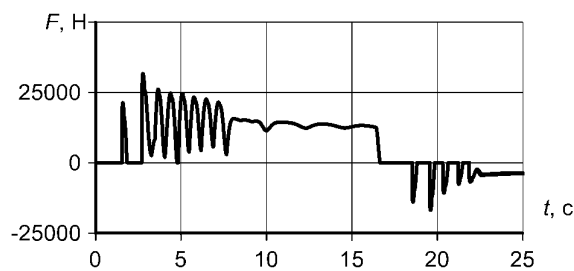


Рис. 12. Графики упругого усилия на сцепном устройстве электровоза

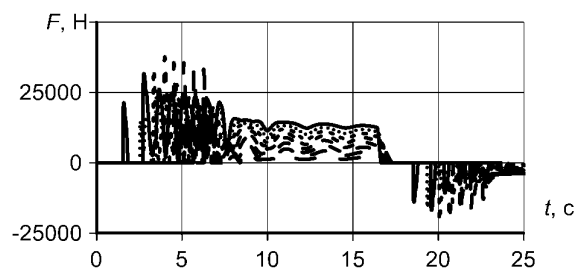


Рис. 13. Графики упругих усилий в сцепных устройствах электровозосостава

Как видим, тяговый электропривод с релейно-контакторной системой управления позволяет получить удовлетворительные результаты при управлении опытным оператором электровоза. Однако по графикам рис. 6–13 не очевидны направления дальнейшей автоматизации управления релейно-контакторной системы управления тяговым электроприводом. При произвольно разной загрузке вагонеток, очевидно, электровозосостав трогается за разное время, потому что нет стабилизации разгонной скорости электровоза (см. рис. 10). Остается открытым вопрос момента времени перехода с разгонного на динамический тормозной режим. Оператор этот момент определяет на основе своего личного опыта, и очевидно, что он может допускать ошибки в оценке этого момента. Далее, переключения между двумя тормозными ступенями тоже могут производиться в произвольные моменты времени.

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. Простую жестко детерминированную автоматизированную систему управления точным перемещением вагонеток построить практически невозможно на базе электровоза по системе электропривода релейно–контакторной система управления – двигатель постоянного тока, потому что исходное состояние системы электровозосостава может быть произвольным, и зависит от многих факторов.

2. В качестве инструментария для решения задачи автоматизации управления точным позиционированием при столь неопределенных условиях можно было бы использовать следующие подходы: теорию планирования экспериментов, обучение нейронных сетей, а также идентификацию системы передаточной функцией, что позволило бы в дальнейшем осуществлять предсказуемое управление.

3. Учитывая устарелость системы тягового электропривода релейно–контакторная система управления – двигатель постоянного тока, и отсутствие перспектив по значительному повышению эффективности использования этой системы средствами автоматизации, следует окончательно отказаться от указанной системы привода, и перейти к модернизации путем замены на более современные и управляемые системы тяговым электроприводом.

Список литературы

1. Синчук О. Н. О варианте энергоэффективной структуры управления тяговым электромеханическим комплексом двухосных электровозов / О.Н. Синчук, И.О. Синчук, А.Ю. Давыдов, С.Н. Якимец, Н.И. Лесной, Е.И. Скапа // *Електромеханічні енергозберігаючі системи*. Кременчук, КНУ 2010. – Вип. 3/2010 (11). – С.27 – 29.
2. Волотковский С. А. Рудничная электровозная тяга / Волотковский С.А. – Москва: Недра, 1981. – 389 с.
3. Клепиков В. Б. Динамика электромеханических систем с нелинейным трением : монография / В. Б. Клепиков. – Харьков : Підручник НТУ «ХПІ», 2014. – 408 с.
4. Шахтарь П. С. Динамические процессы в рудничных локомотивах и методики расчета параметров механической части // *Диссертационная работа на соискание ученой степени доктора технических наук*. Министерство угольной промышленности УССР. Донецкий научно-исследовательский угольный институт ДонУГИ. – Донецк, 1976 г. – 354 с.
5. Браташ В. А. Научные основы проектирования, создание унифицированного ряда тяговых агрегатов и разработка перспективных типов подвижного состава для железнодорожного транспорта открытых горных разработок // *Диссертационная работа на соискание ученой степени доктора технических наук*. – Днепропетровск, 1992.
6. Еллис С. В. Исследование динамики комплекса коксотушильного электровоза. Диссертационная работа на

соискание ученой степени кандидата технических наук. – Харьков, 1971. – 198 с.

10. **Герман-Галкин С. Г.** Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Матлаб 6.0: Учебное пособие. – СПб.: Корона принт, 2001. – 320 с.

11. **Померанцев А.** Матричные операции в Excel. 2010. Режим доступа <http://rscs.chemometrics.ru/Tutorials/excel.htm>

12. Data Import and Export Режим доступа <https://www.mathworks.com/help/matlab/data-import-and-export.html>

Рукопись поступила в редакцию 10.05.2018

УДК 622.271

Ю.С. МЕЦ, А.Ю. АНТОНОВ, доктора техн. наук, профессора
Криворожский национальный университет

УКРАИНЕ – ЕВРОПЕЙСКИЕ ДОРОГИ

Целью настоящего исследования является выяснение особенностей асфальтобетонных покрытий современных автотрасс, устойчивость насыпных оснований, взлетно-посадочных полос аэродромов. Поскольку в перспективе поставлена задача создания в нашей стране условий, материалов и технологии таких сооружений, необходимо уточнить возможности сырьевой базы, учесть требования промышленности к строительным материалам и их физико-механическим характеристикам, регламентируемым соответствующими стандартами.

Методы исследований. Для достижения сформулированной цели выбраны направления исследований:

1. Анализ и оценка сырьевой базы Украины для производства строительного сырья необходимой номенклатуры.
2. Возможность использования архейских и протерозойских интрузивных, ультраметаморфических и метаморфических пород Украинского щита – гранитов различного состава, сиенитов, габбро, лабрадоритов, мигматитов, гнейсов, кристаллических сланцев, амфиболитов, кварцитов и песчаников.
3. Оценка технологических свойств строительных щебней по их форме (кубовидности и лещадности).
4. Анализ мировой практики эффективного производства щебня кубовидной формы.

Научная новизна. Решение поставленных задач и составляет актуальность данной работы. Асфальтобетонные смеси на кубовидном щебне обладают лучшей уплотняемостью за счет взаимозаклинивания зерен. Щебень же с зернами лещадной формы при уплотнении смеси вследствие слабой механической прочности частично разрушается, образуя свежие поверхности не покрытые битумом. Последние под действием атмосферных факторов (вода, мороз) могут являться первичными очагами разрушения асфальтобетонных покрытий. Повышенное содержание прочного кубовидного щебня обеспечивает высокое сцепление с колесом автомобиля, а увеличенное количество асфальтного вяжущего вещества способствует повышению водо- и морозостойкости.

Практическая значимость и результаты. Установлено, что в Украине насчитывается 780 объектов с разведенными запасами, в том числе 422 находятся в эксплуатации. Из них 377 месторождений, которые оценены по категориям А+В +С, имеют запасы 2498036,9 тыс. м³

Наибольшее количество запасов сосредоточено в областях: Житомирской -17,7%; Полтавской – 14,53%; Кировоградской - 8,33%; Донецкой – 8,11%; Днепропетровской – 6,05%.

На территории Кировоградской и Днепропетровской областей эксплуатируются 28 и 20 месторождений соответственно. Наибольший объем продукции производится в Днепропетровской, Полтавской, Ровенской, Винницкой, Запорожской областях, которые обеспечивают более 55% потребности в щебне.

Ключевые слова: кубовидный щебень, дорожное покрытие, сырьевая база.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-173-177

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В связи со строительством в Украине автомобильных дорог европейского уровня, взлетных полос аэродромов, оснований для скоростных железных дорог и других ответственных сооружений возникла потребность в увеличении объемов выпуска нерудных строительных материалов, особенно щебня из скальных изверженных пород. Это обеспечивает повышенную прочность и долговечность сооружений. Однако, эти породы почти в два раза прочнее и абразивнее, чем породы осадочного происхождения и, поэтому, требуют повышенных затрат энергии при добыче и последующей механической переработке.

В настоящее время потребность в высококачественных материалах имеет тенденцию к росту, особенно в щебне кубовидной формы. Следует отметить значительные возможности Украины в сырьевой базе для получения такого щебня [1-3]. Установлено, что использование щебня кубовидной формы для приготовления асфальтобетонных смесей увеличивает качественные показатели дорожных покрытий в 2,5-3 раза по сравнению со щебнем лещадной формы. Причем, чем выше уровень кубовидности, тем меньше расход вяжущих материалов, цемента и би-

тума [4-6]. Получение щебня фракций 5-10, 10-15, 10-20 мм и смеси 5-20 мм с минимальным содержанием игольчатых и пластинчатых зерен (до 15%) на существующих щебеночных заводах, оснащенных эксцентриковыми конусными дробилками, оказалось чрезвычайно трудным делом. С увеличением прочности скальных пород резко снижается производительность дробилок по мелким фракциям и возрастает износ их деталей и узлов. Кроме того, ухудшается качество щебня, нарушается структура породы из-за появления большого числа микротрещин, снижающих прочность и морозоустойчивость материалов [7-9].

Характеризуя промышленность нерудных строительных материалов как самостоятельную отрасль, отметим, что она находится в трудном положении. Ее основные фонды изношены более чем на 80 %. До 1989 г. предприятия, в основном, работали на полную мощность. В связи с падением объемов производства в начале 1990-х годов эксплуатация машинного парка предприятий производилась в щадящем режиме. Часть незадействованного оборудования была использована в качестве запчастей. В настоящее время этот резерв практически исчерпан и возникла острейшая задача переоснащения и замены изношенного оборудования [10].

Анализ исследований и публикаций. Современные технологии производства строительных материалов и изделий на их основе предъявляют повышенные требования к качеству щебня, используемого, в основном, в качестве заполнителя при производстве бетонов, асфальтобетонов и дорожных покрытий. От качества щебня, в значительной мере, зависят потребительские свойства и долговечность автомобильных дорог. Особенно это относится к щебню, который используется в верхних слоях дорожной одежды, непосредственно воспринимающих высокие механические нагрузки от движущегося транспорта, находящиеся под воздействием природных факторов – переменная температура, влажность, многократное замораживание, оттаивание и воздействие антигололедных химических средств.

Применяемый в дорожном хозяйстве щебень подразделяют на три группы: щебень для устройства оснований дорог, где используются преимущественно осадочные и рыхлые породы с крупностью фракций 5-20 до 0-70 мм; щебень для нижних слоев покрытий, где используются метаморфические изверженные породы с крупностью фракций 5-20 и 20-40 мм; щебень для верхних слоев покрытий из асфальтобетонных смесей и поверхностной обработки, где используются изверженные и частично метаморфические горные породы с крупностью щебня от 5 до 20мм с содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы не более 15 %, который принято называть кубовидным. Спрос на такой щебень постоянно возрастает, однако потребность в нем удовлетворяется на 30-40 % [11].

Постановка задачи. В перспективе поставлена задача создать в стране автомобильные дороги европейского уровня, взлетные полосы аэродромов, скоростных железных дорог и др., что будет увеличивать потребность в щебне кубовидной формы.

Изложение материала и результаты. Магматические породы, применяемые для производства щебня, в зависимости от содержания окиси кремния, делятся на две основные группы: кислые (окиси кремния > 60%) – в основном граниты, а также основные и средние (окиси кремния < 65%) – в основном габбро, диабазы, базальты, диориты. Щебень, изготовленный из кислых пород, обладает слабой адгезией к битуму и, чтобы ее повысить, в битум вводят специальные добавки. Щебень, изготовленный из основных пород, имеет повышенную адгезию к битуму и асфальтобетон, приготовленный из этого щебня, характеризуется низким водонасыщением и набуханием, более высокими коэффициентами водостойкости. На работу щебня в слоях дорожной одежды большое влияние оказывает форма его зерен (степень кубовидности).

Установлено, что асфальтобетонные смеси на кубовидном щебне обладают лучшей уплотняемостью за счет взаимозаклинивания зерен. Щебень же с зернами лещадной формы при уплотнении асфальтобетонной смеси вследствие слабой механической прочности частично разрушается, образуя свежие поверхности не покрытые битумом [12]. Последние, под действием атмосферных факторов (вода, мороз), могут являться первичными очагами разрушения асфальтобетонных покрытий. Повышенное содержание прочного кубовидного щебня обеспечивает высокое сцепление с колесом автомобиля, шероховатость покрытия, а увеличенное количество асфальтного вяжущего вещества способствует повышению водо- и

морозостойкости, водонепроницаемости, деформативности и усталостной стойкости защитного покрытия.

При проектировании работ по укладке асфальтобетона в покрытие грузонапряженных дорог следует иметь в виду, что больший эффект дает устойчивый каркас из щебня, а не повышенная вязкость применяемого битума. Щебень, как крупный заполнитель бетонов, образует жесткий скелет в бетоне, увеличивает его прочность и модуль деформации, уменьшает ползучесть, усадку, повышает его долговечность и сокращает расход цемента. Мелкий заполнитель – песок оказывает влияние на реологические свойства бетонной смеси – вязкость, предельное напряжение сдвига бетона, а также на его плотность. Форма зерен крупного заполнителя непосредственно влияет на удобоукладываемость бетонной смеси. Кроме этого, щебень с зернами плоской (лещадной) или игловатой формы имеет значительно большую пустотность, чем щебень с зернами кубовидной формы. Характер уплотнения балласта в процессе укладки и эксплуатации путей существенно зависит от начальной пустотности щебеночного каркаса, то есть от состава и формы зерен щебня. Предельная пустотность щебеночного балласта составляет 0,33-0,34, а начальная часть достигает 0,45-0,50, что вызвано в значительной степени наличием лещадных зерен. Лещадные и игловатые зерна ломаются под нагрузкой и повышают неравномерность осадки балласта при эксплуатации. Отечественные стандарты на щебень для балласта требуют получения двух фракций – 25-60 мм и 5-25 мм, причем содержание зерен крупнее верхнего предела и менее нижнего предела не должно превышать 5 %. Повышение скорости движения поездов вызвало изменение требований к балласту, особенно по его горизонтальной устойчивости. В результате в отечественные стандарты было внесено требование по обеспечению кубовидности щебня – ограничение содержания лещадных зерен до 18 %. Европейские стандарты также требуют ограничения лещадности щебня, используемого для железных дорог, на уровне 15-20 %.

В нашей стране сосредоточены значительные запасы сырья для производства строительного щебня. Чаще всего в их качестве используют архейские и протерозойские интрузивные, ультраметаморфические, метаморфические породы Украинского щита – граниты различного состава, сиениты, габбро, лабрадориты, мигматиты, гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты, кварциты и песчаники.

В настоящее время в Государственном фонде месторождений полезных ископаемых насчитывается 780 объектов с разведанными запасами, в том числе 422 находятся в эксплуатации. Из них 377 месторождений, которые оценены по категории А+В+С, имеют запасы 2498036,9 тыс. м³ [13]. Наибольшее количество запасов сосредоточено в областях: Житомирской – 17,3 %; Полтавской – 14,53 %; Кировоградской – 8,33 %; Донецкой – 8,11 %; Днепропетровской – 6,05 %.

В Украине функционируют около 400 предприятий по производству бутово-щебеночной продукции. Наибольший объем продукции производится в Днепропетровской, Полтавской, Ровенской, Винницкой, Запорожской областях, которые обеспечивают более 50 % потребности в щебне. На территории Кировоградской и Днепропетровской областей сегодня эксплуатируется 28 и 20 месторождений соответственно.

К крупным предприятиям Днепропетровской области относятся: Новопапавловское месторождение, Любимовское месторождение, Мишурино-Рижский карьер. К крупным предприятиям Кировоградской области относятся: Власовское месторождение (гранит), Светловодское карьероуправление; Гайворонское месторождение (мигматит); Бантышевское месторождение – ЗАО «Новоукраинский гранкарьер».

Показатели производственной мощности и обеспеченности запасами названных объектов приведены в табл. 1-4 (при этом показатель обеспеченности запасами на 30 лет означает зафиксированные значения «более 30 лет», поскольку в большинстве случаев предприятия имеют возможность существенного прироста запасов промышленных категорий). Что касается сырьевой базы горно-обогатительных комбинатов, то она практически не ограничена, но отсутствует рынок сбыта [10-15].

Таблица 1

Сравнительный анализ добычи строительного сырья

Добыча строительного камня в Украине						
Год	Украина		Кировоградская область		Днепропетровская область	
	тыс. м ³	%	тыс. м ³	%	тыс. м ³	%
1989	91073	100	5381	100	7490	100
2016	24236	26,6	1618	30,1	3719	49,7

Таблица 2

Производство щебня на ГОКах Кривбасса из скальных пород вскрытых рудных месторождений

Производство щебня, тыс.м ³			
Год	всего	в т.ч. товарного	%
1989	2754,2	833,6 (или 30,3%)	100
2016	1185,8	52,6 (или 4,4%)	43

Таблица 3

Темпы роста добычи строительного камня

Страна, регион	Месторождения, которые разрабатываются			Количество лет для достижения добычи 1989 г.
	добыча по годам, тыс. м ³		темпы роста добычи тыс.м ³	
	2015	2016		
Украина	22127,4	24236,0	2108,6	32
Кировоградская обл.	1212,4	1617,8	405,4	10
Днепропетровская обл.	3146,7	3718,9	572,3	7

Таблица 4

Обеспеченность балансовыми запасами месторождений строительного камня

Страна, регион	Разрабатываемые месторождения			
	запасы (А+В+С1+С2) по состоянию на 01.01.2017 г., тыс.м ³	добыча в 2016 г., тыс.м ³	Обеспеченность запасами, лет	
			уровни добычи	
			2016 г.	1989 г.
Украина	4475201,5	24236,0	185	49
Кировоградская обл.	523377,0	1617,8	324	97
Днепропетровская обл.	305979,8	3718,9	82	41

Выводы и направление дальнейших исследований. Как видно из приведенных данных, действующие добычные предприятия при существующей сырьевой базе имеют на последующие десятилетия практически неисчерпаемые возможности для развития.

Вместе с тем из года в год возрастают транспортные тарифы и цены, что приводит к снижению темпов роста сбыта сырьевой продукции. Отдельное складирование добытых запасов требует отчуждения значительных площадей земли с вытекающими из этого отрицательными последствиями. Поэтому возникает необходимость в снижении затрат на добычу и увеличение (расширение) ассортимента производимой продукции, и в первую очередь, щебня кубовидной формы.

Список литературы

1. Арутюнов В.С., Юмашев В.М. и др. Технологии производства щебня узких фракций кубовидной формы для верхних слоев асфальтобетонных покрытий. Тр.СоюздорНИИ, 2000. - Вып. 199. - М. - С. 28-30.
2. Арутюнов В.С., Исаев В.С. и др. Роль щебня в обеспечении качества асфальтобетонных покрытий. Тр.СоюздорНИИ, 2000. - Вып. 199. - М. - С. 34-39.
3. Шлаин И Б и др. Производство щебня из карбонатных пород. М. Стройиздат, 1971.
4. Гордон С. С. Структура и свойства тяжелых бетонов на различных заполнителях. М. Стройиздат, 1969.
5. Виноградов Б.И. Влияние заполнителей на свойства бетона. М. Стройиздат, 1979.
6. Беркович В.А., Кобец В.С. Получение щебня с правильной формой зерна при «переработке абразивных пород. «Нерудные строительные материалы», Сб. Трудов, ВЯИИнеруд, 1969. - Вып. 26. - Тольятти.
7. Современные конструкции верхнего строения железнодорожного пути. Под ред. В.Г. Альбрехта и А.Ф. Золотарского, М. «Транспорт», 1975. - 280 с.
8. Вайсберг Л.А., Шуляков А.Д. «Технологические возможности конусных инерционных дробилок при производстве кубовидного щебня». «Строительные материалы», 2000.- №1.- С. 8-9.
9. Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П. «Новое поколение щековых и конусных дробилок». «Строительные и дорожные машины», 2000. - № 7. - С. 16-21.
10. Буткевич Г.Р. «Промышленность нерудных строительных материалов: достигнутое и перспективы». «Строительные материалы», 2003. - № 11. - С. 2-5.

11. Буткевич Г.Р. «Современное состояние горной отрасли промышленности строительных материалов США» «Строительные материалы», 2003. - № 4. - С. 31-33.

12. Барина Я.С. «Современное состояние и проблемы горной промышленности строительных материалов». Материалы X Международной конференции «Технология, оборудование и сырьевая база горных предприятий промышленности строительных материалов». Минск, 2002. - С. 27-32.

13. Данилишин Б.М., Дорогунцев С.І., Міщенко В.С. та ін. Природно-ресурсний потенціал сталого розвитку України. – Київ, 1999. – 350 с.

14. Муйземнек Ю.Ф. Конусные дробилки. - М.: из-во Машиностроение, 1970,-196с.

15. Юмашев В.М., Панфилов Ф.В. Технология и оборудование для производства щебня узких фракций кубовидной формы. «Строительная техника и технология», №4, 2002, с.76-79.

Рукопись поступила в редакцию 02.04.18

УДК 621.313.

І.І. ПЕРЕСУНЬКО, асистент, Д.С. КРАВЧЕНКО, А.С. БРАСЛАВСЬКИЙ,
Ю.В. ШЕРСТНЬОВ, студенти
Криворізький національний університет

ВПЛИВ ЗМІН НАПРУГИ І ЧАСТОТИ МЕРЕЖІ ЖИВЛЕННЯ НА РОБОТУ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Мета. Є дослідження впливу зміни напруги і частоти мережі живлення на роботу синхронних двигунів, і виявлення аварійного режиму щоб в подальшому модернізувати електромеханічну систему та забезпечити стійку роботу обладнання з СД.

Методи дослідження. При проведенні розглянутого в статті дослідження вирішуються шляхом застосування, як математичного апарату були використані методи теорії стійкості і теорії електроприводу.

Наукова новизна. Розглянуто математичну модель аварійних режимів синхронного електроприводу, при коротких замиканнях в різних точках електричної мережі і втрати живлення внаслідок відключення від електричної мережі.

Практична значимість. Проведено аналіз впливу зміни напруги і частоти мережі живлення, на автоматизацію високовольтних синхронних електроприводів, і оптимізація режимів їх роботи та способів оцінки запасу стійкості в різних режимах.

Результати. Великі синхронні двигуни (далі СД) знаходять в даний час широке застосування в системах електроприводу насосних, компресорних і вентиляційних установок. Такі двигуни мають істотні переваги більш високим ККД у порівнянні з асинхронними машинами такої ж потужності, меншою залежністю крутного моменту від напруги, що підводиться, незалежністю частоти обертання від навантаження на валу електродвигуна, можливістю використання двигуна для компенсації реактивної потужності. Разом з тим, експлуатація синхронних двигунів супроводжується певними особливостями, пов'язаними з можливістю переходу машини в генераторний або асинхронний (щодо напруги живлення) режими роботи внаслідок короткочасного зниження або відсутності напруги або втрати збудження. У той же час, як правило великі синхронні машини є споживачами першої категорії, незаплановане відключення яких може призвести до суттєвих матеріальних втрат, ризику для здоров'я і життя людей. Перераховані вище обставини призводять до необхідності комплексного підходу до заходів, спрямованих на збереження стійкості роботи синхронних машин в різних режимах.

Ключові слова: аварій, електромеханічних систем, мережі живлення, синхронний електропривод, втрати живлення.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-177-181

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Синхронні двигуни знаходять дуже обмежене застосування на початку 20-го століття не дивлячись на їх очевидну перевагу - можливість роботи з видачею реактивної потужності. [7] Пов'язано це було з складністю пуску таких машин - розворот до підсинхронних частоти обертання здійснювався або допоміжним двигуном, або пусковою обмоткою, конструкція якої в той час була погано оптимізована. Пропонувалися також більш екзотичні варіанти машин, наприклад, «Ультрасинхронний двигун» статор якого при пуску приводився в рух таким чином, щоб його частота обертання щодо ротора завжди була синхронною [8].

За останні роки виконано велику кількість досліджень в напрямку контролю і підвищення стійкості роботи синхронних двигунів при короткочасній втраті харчування, це показує, що тема є актуальною і розробляється багатьма науково-дослідними колективами.

Аналіз досліджень і публікацій. В даний час багато дослідників і наукові колективи займаються дослідженнями, пов'язаними з підтриманням стійкості роботи великих синхронних машин. Роботи в цій галузі в даний час ведуться такими вітчизняними та зарубіжними дослідниками, як Б.М. Абрамович, Д.А. Устинов, Ю.А. Сичов, І.Г. Плотніков, Б.Ю. Васильєв, А.С. Гусєв, С.В. Свічкарьов, В.А. Савицький, Marius Babescu, Octavian Prostean, Gabriela Prostean, Iosif Szeidert, Cristian Vasar, Kai Pietiläinen, Magnus Jansson, Lennart Harnefors.

Постановка задачі. Аналіз досліджень, проведених з питань автоматизації високовольтних синхронних електроприводів, оптимізації режимів їх роботи та способів оцінки запасу стійкості в різних режимах.

Викладення матеріалу та результати. Аналіз впливу змін напруги і частоти мережі живлення на роботу синхронних двигунів наведено в джерелах [1]-[3], [5], [6]. Оскільки в рамках даної роботи розглядаються тільки неявнополюсного СД, всі формули наведені з розрахунку $x_d = x_q$.

Слід розділити режими втрати харчування СД:

викликані відключенням лінії 110 (220) кВ;

викликані коротким замиканням в мережі 110 (220) кВ або 6 (10) кВ.

У другому випадку виникає підживлення від двигуна місця короткого замикання, в цьому випадку гальмування двигунів відбувається швидше, швидше знижується частота і амплітуда напруги на секції, від якої живляться СД. Розглянемо далі поведінку синхронного двигуна при близькому короткому замиканні. Схема заміщення для такого випадку приведена на рис. 1.

При короткому замиканні на приєднання, що живиться від шин, до яких підключені синхронні двигуни, в перший момент часу ($t = 0$), струм в місці короткого замикання буде дорівнює сумі струмів джерела живлення і синхронних двигунів. Запишемо для схеми заміщення, наведеної на малюнку для $t = 0$

$$x_{c.к.з} = x_c + x'_{к.з} + x_c \cdot x'_{к.з} / x_{\deltaв}; \quad (1)$$

$$x_{\deltaв.к.з} = x_{\deltaв} + x'_{к.з} + x_{\deltaв} \cdot x'_{к.з} / x_c, \quad (2)$$

де $x_{c.к.з}$ - індуктивний опір між живлячим джерелом мережі і місцем КЗ; $x_{\deltaв.к.з}$ - індуктивний опір між двигуном і місцем КЗ; x_c - індуктивний опір мережі; $x_{к.з}$ - перехідний індуктивний опір від шин підстанції до місця КЗ; $x_{\deltaв}$ - індуктивний опір двигуна.

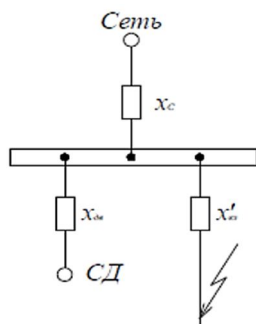


Рис 1. Схема заміщення для розрахунку близького короткого замикання синхронного двигуна

У такому випадку періодичні складові струмів від системи і двигунів, відповідно дорівнюватимуть в відносних одиницях (відповідно до системи одиниць

$$I_{c.к.з} = U / x_{c.к.з} \approx 1,05 / x_{c.к.з}; \quad (3)$$

$$I_{\deltaв.к.з} = E_q'' / x_{\deltaв.к.з} \approx 1,05 / x_{c.к.з}, \quad (4)$$

де $I_{c.к.з}$ - струм, що протікає від мережі до місця короткого замикання, $I_{\deltaв.к.з}$ - струм, протікає від синхронного двигуна до місця короткого замикання в момент $t = 0$; U - напруга мережі в момент; E_q'' - напруга, що розвивається СД в генераторному режимі в момент $t = 0$.

Таким чином, повний струм в точці КЗ буде дорівнювати

$$I_{к.з} = I_{c.к.з} + I_{\deltaв.к.з} = 1,05(1/x_{c.к.з} + 1/x_{\deltaв.к.з}). \quad (5)$$

Максимальне значення напруги на шинах при $t = 0$ складе

$$U_{III} = 1,05 x'_{к.з} (1/x_{c.к.з} + 1/x_{\deltaв.к.з}). \quad (6)$$

Опір зв'язку між двигуном і живлячим джерелом мережі

$$x_{св} = x_{\deltaв} + x_c + x_c \times x_{\deltaв} / x'_{к.з}. \quad (7)$$

Умова збереження стійкої роботи двигунів при короткому замиканні будь-якої тривалості за опором $x_{к.з}$ буде

$$x_{\deltaв} / x_{св} \geq (m_{мех} / m_{с.м.к} \times K_{\phi})_{макс}, \quad (8)$$

де $m_{мех}$ - момент на валу двигуна; $m_{с.м.к}$ - максимальна кратність синхронного моменту при номінальному збудженні, K_{ϕ} - кратність форсування збудження. У разі, якщо до шин підключе-

на група з n синхронних двигунів, слід у вираженні (8) відношення $m_{\text{мех}}/m_{\text{с.м.к}} \cdot K_{\phi}$ взяти для того двигуна, для якого це ставлення найбільше. Опір $x_{\text{дв}}$ для такого випадку можна визначити з вираження

$$1/x_{\text{дв}} = \sum_{i=1}^n 1/x_{\text{дв},i} = \sum_{i=1}^n 1/x_{\text{д},i} + x_{\text{р},i}. \quad (9)$$

Слід звернути увагу, що вираз (8) дає відносну величину напруги на виводах двигунів без урахування підживлення від самих двигунів. В дійсності, напруга на шинах при КЗ за опором $x_{\text{к.з}}$ буде трохи вище, однак для оцінки стійкості необхідно залишкову напругу на шинах визначити саме як відношення $x_{\text{дв}}/x_{\text{св}}$. Ця напруга має зіставлятися з найбільшою величиною критичної напруги

$$U_{\text{кр.макс}} = (m_{\text{мех}}/m_{\text{с.м.к}} \times K_{\phi})_{\text{макс}}. \quad (10)$$

При практичних розрахунках, у випадках, коли дійсне напруга на шинах при КЗ з урахуванням підживлення від синхронних двигунів дорівнює або більше 70% від номінального, приймають $x_{\text{а.д}} = 0,7$. Якщо залишкова напруга на шинах нижче 70% від номінального, опору асинхронних двигунів приймаються $x_{\text{а.д}} = x_{\text{к.з}}$.

У тих випадках, коли виконується

$$x_{\text{дв}}/x_{\text{св}} < (m_{\text{мех}}/m_{\text{с.м.к}} \times K_{\phi})_{\text{макс}} \quad (11)$$

синхронні двигуни, підключені до шин, починають гальмуватися. швидкість зміни кута навантаження δ залежить від того, наскільки максимальне значення електромагнітного моменту з урахуванням зниженої напруги, що визначається тільки струмом від живильного джерела, буде менше моменту на валу. У загальному випадку для визначення швидкості зміни кута навантаження $\delta(t)$ і вирішення питання по допустимому часу відключення КЗ необхідно вирішити рівняння руху

$$J \times d\omega/dt = M_{\text{двиг.ел}} - M_{\text{мех}}, \quad (12)$$

де J - сумарний момент інерції двигуна і механізму, кгс·м²; $M_{\text{двиг.ел}}$ - крутний момент електродвигуна; $M_{\text{мех}}$ - механічний момент опору навантаження. Момент, що обертає синхронного електродвигуна являє собою сукупність асинхронного моменту $M_{\text{а}}$, синхронного моменту $M_{\text{с}}$ і генераторного моменту $M_{\text{г}}$, обумовленого тільки струмом збудження. З врахуванням того, що асинхронний і синхронний моменти прискорюють ротор двигуна, а генераторний момент гальмує його, можна записати (12) у вигляді

$$J \cdot d\omega/dt = M_{\text{а}} + M_{\text{с}} - M_{\text{г}} - M_{\text{мех}}. \quad (13)$$

Вирази для моментів $M_{\text{а}}$, $M_{\text{с}}$, $M_{\text{г}}$, з урахуванням неявнополюсності маємо

$$M_{\text{а}} = 1/2 \times U^2 (Im(1/x_{\text{д}} + 1/x_{\text{к}})); \quad (14)$$

$$M_{\text{с}} = E_{\text{q}} \times U / x_{\text{д}} \times \sin \delta; \quad (15)$$

$$M_{\text{г}} = (E_{\text{q}} / x_{\text{д}})^2 \times r / 1 - s, \quad (16)$$

де $s = d\delta/dt$ - ковзання у відносних одиницях.

Постійна інерції H і механічна постійна часу τ_j двигуна визначаються як

$$2H = GD^2 \times n_0^2 / 365 \times S_{\text{н}}; \quad (17)$$

$$\tau_j = GD^2 \times n_0^2 / 365 \times S_{\text{н}} = 2H \times \cos \varphi_{\text{н}}, \quad (18)$$

де $GD^2 - n_0$ - швидкість обертання, об/хв.

У відносних одиницях можна записати

$$J \times d\omega/dt = 2H ds/dt = 2H \times d^2\delta/dt^2 = \tau_j \times d^2\delta/dt^2 \times \cos \varphi_{\text{н}}. \quad (19)$$

З урахуванням (14), (15), (16), (18) рівняння руху (13) запишеться у вигляді

$$2H \frac{d^2\delta}{dt^2} = \tau_j \frac{d^2\delta}{dt^2} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} = \frac{1}{2} U^2 (Im(\frac{1}{x_{\text{д}}} + \frac{1}{x_{\text{к}}})) + \frac{E_{\text{q}} \cdot U}{x_{\text{д}}} \cdot \sin \delta - (\frac{E_{\text{q}}}{x_{\text{д}}})^2 \cdot \frac{r}{1-s} - M_{\text{мех}}. \quad (20)$$

Зміна ковзання при вибігу може бути визначено з рівняння руху (20) при $U = 0$, прийнявши

за позитивний напрямок зміни кута – напрямком його відставання від поля (мінємо знак при $d^2\delta/dt^2$). При відсутності живлення, складові синхронного моменту і асинхронний момент будуть дорівнюють нулю і рівняння руху набуває вигляду

$$\tau_j \times d^2\delta/dt^2 = \tau_j \times ds/dt = M_{mex} + (E_q/x_d)^2 \times r/1-s \times 1/\cos\varphi_n. \quad (21)$$

Складова генераторного моменту з'являється при підживленні місця короткого замикання. Оскільки цей режим, як правило, нетривалий, можна вважати генераторний момент не залежним від ковзання. При синхронній частоті обертання і номінальному збудженні цей момент складе 10-20% від номінального моменту двигуна. Він може бути врахований у відповідності з виразом

$$\tau_j \times d^2\delta/dt^2 = M_{mex} + (0,1 \div 0,2) \times K_\phi^2, \quad (22)$$

де K_ϕ - кратність форсування збудження.

При короткочасній перерві живлення через відключення двигуна від живильної мережі генераторний момент відсутній. При цьому механічний момент можна також вважати не залежним від ковзання. Тоді рішенням рівняння (22) буде

$$s = M_{mex}/\tau_j \times t, \quad (23)$$

де t - час, що минув після відключення живлення.

Якщо до шин підстанції підключена група двигунів, то при близькому короткому замиканні їх вибіг відбуватиметься за індивідуальними характеристиками. При відключенні групи двигунів від мережі живлення їх вибіг буде груповим поки напруга на шинах не впаде нижче $0,4 \div 0,5U_n$. У цьому випадку генераторний момент від струму збудження матиме місце, якщо в вибігу беруть участь асинхронні двигуни. Однак величина цього моменту значно менше, ніж при короткому замиканні і його можна не враховувати.

Ковзання при груповому вибігу буде знаходитися аналогічно одиночному, при цьому у виразі (24) необхідно буде замінити момент і механічну постійну часу на наведені величини

$$M_{mex.np} = \sum_{i=1}^n M_{mex.i} \times P_{n.i} / \sum_{i=1}^n P_{n.i}; \quad (24)$$

$$\tau_{jnn} = \sum_{i=1}^n \tau_{ji} \times P_{n.i} / \sum_{i=1}^n P_{n.i}. \quad (25)$$

Для визначення кута повороту осі ротора двигуна щодо вектора напруги мережі проінтегруємо (22), отримаємо

$$\delta = \delta_0 + M_{mex}/\tau_j \times t^2/2, \quad (26)$$

де $\delta_0 = \arctg x_q \times P_0/U_0^2 + x_q \times Q_0$ – визначається попередньою навантаженням, для групового вибігання замінюється на $\delta_{0np} = \sum_{i=1}^n \delta_{0i} \times P_{n.i} / \sum_{i=1}^n P_{n.i}$.

Якщо в (25) підставити τ_j і t в секундах, кут δ в радіанах визначиться з виразу

$$\delta = \delta_0 + \pi \int_0 \times M_{mex}/\tau_j \times t^2/2. \quad (27)$$

З виразу (29) можна знайти час, за який ротор відстане від вектора напруги мережі на кут $\delta_0 + \pi$

$$t_{\delta_0+\pi} = \sqrt{\tau_j/50 \times M_{mex}}. \quad (28)$$

У практичних розрахунках часто користуються критерієм 100% -ої ймовірності входження в синхронізм

$$s_{cp} \leq s_{кр} = 1,05 \sqrt{M_{c.m.k}/\tau_j}, \quad (29)$$

де s_{cp} – середнє ковзання, відповідне точці перетину характеристики механічного моменту на валу із середньою асинхронною характеристикою.

Підставивши (23) в (29) отримаємо

$$s = M_{mex}/\tau_j \times t \leq 1,05 \sqrt{m_{c.m.k}/\tau_j}. \quad (30)$$

Звідки знаходимо граничний час відключення КЗ (повторної подачі живлення) при якому

забезпечується 100% -ва ймовірність входження в синхронізм

$$t_{np} \leq 1,05/m_{mex} \sqrt{m_{c.m.k} \times \tau_j}. \quad (31)$$

Розрахунки для реальних двигунів показують, що допустимий час перерви живлення, при якому забезпечується 100% -ва ймовірність успішної ресинхронізації не перевищує 0,3 с.

Висновки та напрямок подальших досліджень. При перерві живлення через коротке замикання на суміжному елементі мережі, у випадку, якщо кут навантаження δ не виріс до критичної величини, при якій можливе порушення динамічної стійкості, електромеханічний перехідний процес носить характер згасаючих синхронних коливань [8].

Втрата живлення, обумовлена трифазним коротким замиканням в неактивованій кабельній мережі, не приведе до випадання синхронних двигунів із синхронізму лише в тому випадку, якщо мережа забезпечена швидкодіючими захистами, які відключають міжфазні короткі замикання без витримки часу. Якщо міжфазні короткі замикання в неактивованій кабельній мережі будуть відключатися хоча б з одним ступенем витримки часу, наприклад, $\Delta t = 0,25 \div 0,3$ с, то загальний час перерви живлення складе $0,4 \div 0,5$ с і синхронні двигуни обов'язково випадуть із синхронізму [8].

Короткі замикання в реактивованих кабельних мережах, як правило, не призводять до випадання синхронних двигунів з синхронізму, оскільки в цих випадках залишкову напругу на шини перевищує $0,5, 0,6U_{ном}$ досить тривалий час ($2 \div 3$ с) [8].

При відновленні напруги після відключення короткого замикання на суміжному елементі мережі, струми і електромагнітні моменти обертання, що виникають в синхронних двигунах, як правило, менше, ніж при несинхронному включенні, обумовленому дією пристроїв АПВ і АВР, так як результуючий магнітний потік двигуна в цьому випадку значно ослаблений через розмагнічуючого ефекту струму короткого замикання. В даний час у зв'язку з використанням механізмів Бавра став можливий синхронний самозапуск СД, без необхідності гасіння поля [8].

Список літератури

1. **Важнов А.И.** Переходные процессы в машинах переменного тока. – Л. Энергия, 1980 г.
2. **Гамазин, С.И.** Переходные процессы в системах промышленного электроснабжения, обусловленные электродвигательной нагрузкой/ **С.И. Гамазин, В.А. Ставцев, С.А. Цырук.** – М.: Издательство МЭИ, 1997. – 424 с.
3. **Горев, А.А.** Переходные процессы синхронной машины/ **А.А. Горев.** – М., Л.: Государственное энергетическое издательство, 1950. – 552 с.
4. ГОСТ 13109-97 Межгосударственный стандарт. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 1999. – 64 с.
5. **Ковач, К.П.** Переходные процессы в машинах переменного тока/ **К.П. Ковач, И. Рац.** – М.-Л., Госэнергоиздат, 1963.
6. **Слодарж, М.И.** Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных двигателей/ **М.И. Слодарж.** – М.: «Энергия», 1977. – 215 с.
7. Справочная книга для электротехников. Том 5/ под общ. ред. профессоров **М.А. Шателена, В.Ф. Миткевича, В.А. Толвинского.** – Л.: КУБУЧ, 1934. – 204 с.
8. **Михалев С. В.** Система поддержания устойчивости работы синхронных электродвигателей 6-10 кВ. /Текст диссертаций/ Санкт-Петербург/ 2014. – 121 с.
9. **Беляев, А.В.** Автоматика и защита на подстанциях с синхронными и частотно-регулируемыми электродвигателями большой мощности/ **А.В. Беляев,** – Санкт-Петербург: ПЭИПК, 2012.
10. **Беляева Е.Н.** Как рассчитать ток короткого замыкания/ **Е.Н. Беляева.** – М: Энергоатомиздат, 1983. – 137 с.

Рукопис подано до редакції 08.05.2018

УДК 697.34

О.М. ГОЛИШЕВ, д-р техн. наук, проф., В.А. КОНОВАЛЮК, канд. техн. наук, доц.,
Д.В. МИХАЛКІВ, ст. викладач, К.О. ФІЛОНОВА, асистент
Криворізький національний університет

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ЗІ ЗМІННОЮ ВИТРАТОЮ ПОВІТРЯ В УМОВАХ БУДІВЕЛЬ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

Мета. Метою даної роботи є визначення перспектив застосування для приміщень громадських будівель вентиляційних систем зі змінною витратою повітря (VAV-систем, «Variable Air Volume» - змінна витрата повітря), що враховують фактичний режим використання приміщень при різних навантаженнях по кількості людей та, відповідно,

нерівномірність в часі надходження шкідливих виділень, на зниження концентрації яких власне проєктовано системи вентиляції. Основними шкідливими виділеннями для приміщень громадських будівель прийнято двоокис вуглецю, вологу та тепло.

Методи дослідження. В роботі виконано аналіз перед основ втілення принципу змінної витрати повітря в приміщеннях громадських будівель шляхом аналізу режиму завантаженості приміщень в часі. Виконано порівняння режиму експлуатації системи вентиляції приміщення учбових аудиторій з врахування кількості людей відповідно до фактичного розкладу занять. Виконано порівняльний аналіз техніко-економічних показників систем вентиляції з різним принципом керування витратою повітря.

Наукова новизна. Підтвердження перспективи впровадження систем зі змінною витратою повітря виконано на основі визначення впливу основного фактору – коефіцієнту завантаженості приміщень, який на сьогодні не є розрахунковою величиною при визначенні режимів роботи систем вентиляції приміщень. В даній роботі підтверджується значимість такого параметру і його вплив на основні конструктивні рішення систем вентиляції громадських будівель та їх техніко-економічні показники.

Практична значимість. Отримані результати дозволяють стверджувати про доцільність використання в приміщеннях саме громадських будівель систем зі змінною витратою виходячи з зазначених особливостей режимів та графіку використання (завантаженості) приміщень та викликані цим особливостями роботи вентиляційних систем, а також властивими їм достоїнствами і перевагами. Для громадських будівель одним з основних показників, що впливає на значення повітрообміну приміщень, є кількість людей, які одночасно в ньому знаходяться.

Результати. На основі порівняльного аналізу обґрунтовано використання в приміщеннях початкових будівель систем вентиляції зі змінною витратою, що дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати теплової та електричної енергії, що стосовно розрахованого прикладу складає 70% та 92% відповідно.

Ключові слова: коефіцієнт завантаженості приміщень, система вентиляції, витрат повітря, змінна витрата повітря, двоокис вуглецю, постійна витрата повітря.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-181-185

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Безперервне зростання ціни на енергоносії, насамперед на теплову та електричну енергію, та посилення суворості норм і правил законодавства щодо енергозбереження та енергоефективності змушують постійно шукати шляхи зменшення витрат енергії, підвищення ефективності інженерних системи і мінімізації експлуатаційних витрат. Громадські будинки обладнуються системами опалення та вентиляції, які слід проєктувати згідно з вимогами нормативних документів на опалення, вентиляцію, кондиціонування [1-4]. Згідно наведених вимог для будівель навчальних закладів проєктується загальнообмінна припливно-витяжна механічна система вентиляції. Схема повітрообміну приймається переважно «зверху-вверх». Розрахунок повітрообміну приміщень виконується по кількості людей, на перебування яких приміщення розраховано. Для громадських будівель певного призначення характерною відмінністю є відсутність відповідності прийнятої до розрахунку кількості осіб, що знаходяться в приміщенні від їх фактичної кількості, що призводить до характерних ситуацій з невідповідністю фактичної максимальної витрати повітря в приміщенні його фактичним потребам в вентиляції. Номінальна витрат повітря системою вентиляції приміщення відповідає максимальній розрахунковій кількості осіб у приміщенні що фактично ніколи не виконується та відповідно є причиною невиправданих витрат теплової та електричної енергії при експлуатації систем вентиляції. Будівлі навчальних закладів характеризуються чітким графіком роботи, що втілено у розкладі навчальних занять, однак при розрахунку систем вентиляції згідно діючого нормативного документу [2] визначення витрати повітря системами вентиляції та одночасність роботи систем не враховується визначальним фактором, тому системи вентиляції проєктуються такими, що працюють централізовано на всі обслуговувані приміщення з графіком використання приміщень, наприклад з 9.00 до 17.00 щоденно, крім вихідних. Таке проєктне рішення на сьогодні є надзвичайно енерговитратним не відповідає напрямку підвищення енергоефективності інженерних мереж.

Аналіз досліджень і публікацій. Існуючі сучасні технічні рішення щодо систем зі змінною витратою повітря [6] передбачають впровадження систем перед усім для суміщення з системами повітряного опалення та охолодження приміщень. Вентиляційні установки зі змінною витратою повітря є досить складними технічними системами. Вони можуть працювати безперебійно, виконувати закладені в них функції і забезпечувати очікувану економію тільки в тому випадку, якщо весь процес створення - проєктування, підбір відповідного обладнання, монтаж, введення в експлуатацію і власне експлуатація - будуть правильними, скоординованими і спрямованими на досягнення однієї мети.

Вентиляційні системи зі змінною витратою повітря («Variable Air Volume» - змінний обсяг повітря) працюють в режимі зміни кількості повітря, що подається. Зміни теплового навантаження приміщень компенсуються шляхом зміни обсягів припливного і витяжного повітря при

його постійній температурі, що надходить з центральної припливної установки. Основним регулюючим елементом системи вентиляції зі змінною витратою повітря є VAV-термінал. Завданням терміналу є підтримка заданої кількості припливного і витяжного повітря в залежності від поточної потреби. Необхідна величина витрат визначається значенням зовнішнього керуючого сигналу, надходить на регулятор від встановлених в приміщеннях будівлі температурних регуляторів, датчиків CO₂ або інших елементів системи управління.

Вентиляційна система VAV реагує на зміну теплового навантаження окремих приміщень або зон будівлі, зміну перепаду тиску перед датчиком і змінює фактичну кількість повітря, що подається в приміщення або зону. За рахунок цього вентиляційна система VAV працює при загальному значенні витрати повітря меншому, ніж необхідно при сумарній величині максимального теплового навантаження всіх окремих приміщень. Це забезпечує зниження споживання енергії при збереженні заданої якості повітря всередині приміщень. Зниження енергетичних витрат за даними такого автоматичного регулювання може становити 25% і вище в порівнянні з вентиляційними системами з постійною витратою повітря.

Постановка завдання. Для будівель навчальних закладів при проектуванні систем вентиляції вирішальним параметром для визначення розрахункових витрат повітря і конструктивного виконання системи вентиляції є розрахункова кількість студентів у кожному приміщенні, при цьому важливо підтримувати зворотній зв'язок з приміщення по визначенню фактично необхідної витрати. Розрахунок необхідних витрат повітря виконується виходячи з кількості людей у приміщенні й норми кількості повітря на кожну людину. Як вже було зазначено вище 100% завантаженість приміщень явище дуже рідкісне, але можливе, студенти займають не всі аудиторії й тим більше не весь час, а система з 9 до 17 годин кожен робочий день. Існуюча вентиляційна система фактично запроєктована на 100% завантаженість аудиторій і не враховує фактичний графік їх використання, але керуючись фактичним розкладом занять та кількістю студентів, які мають заняття в тих чи інших аудиторіях, можна вирахувати і передбачити витрату повітря для кожної аудиторії та видатність усієї системи погодинно на кожен день. Фактично це регулювання буде здійснюватися абсолютно автоматично в залежності від наявності людей в аудиторіях. Економії енергоресурсів в даному випадку можна домогтися за допомогою використання інтегрування в систему запрограмованих VAV-терміналів з можливістю нескладного перепрограмування останніх. В розрахунку розглядається існуюча система вентиляції з постійною витратою та спосіб виконання реконструкції з втіленням принципу змінної витрати повітря.

У випадку реконструкції та переобладнання існуючої системи вентиляції це вимагає лише встановлення на підключенні кожного приміщення до припливної та витяжної систем VAV-терміналів, встановлення частотних регуляторів обертів вентиляторів та відповідної автоматички управління системою, технічно така реконструкція не є складною.

Основним впливовим чинником визначення ступеню ефективності запропонованої системи є фактичне навантаження приміщень як основний впливовий фактор. Для спрощення розрахунку визначимо лише коефіцієнт завантаженості приміщень без врахування відмінності кількості людей в приміщеннях в порівнянні з номінальним значенням.

Викладання матеріалу та результати. Для визначення можливості і ефективності впровадження VAV-системи необхідно втілити принцип відповідності витрати повітря вентиляційною установкою потребам вентиляції приміщень в розрахунковий проміжок часу, для чого було складено на базі розкладу учбового процесу графіки завантаженості аудиторій навчального корпусу по часу за кожним днем першого та другого учбових тижнів. Характерна відповідність номінального та фактичного розрахункового навантаження приміщення учбової аудиторії, що в цілому відображає стан питання відповідностей проєктованих та необхідних фактичних витрат повітря наведено на рис. 1.

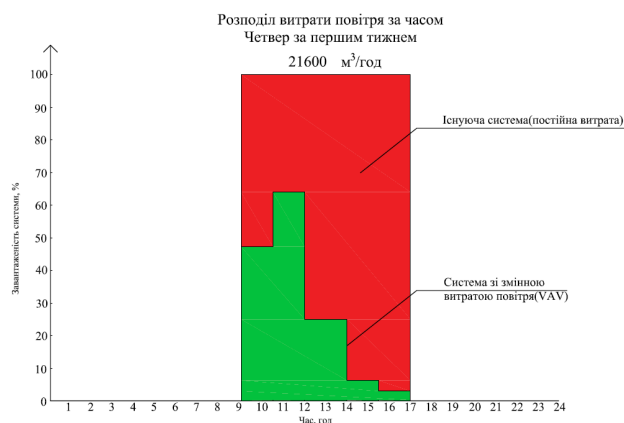


Рис. 1. Характерна залежність проєктованих та необхідних фактичних витрат повітря за часом доби та днем тижня

було складено на базі розкладу учбового процесу графіки завантаженості аудиторій навчального корпусу по часу за кожним днем першого та другого учбових тижнів. Характерна відповідність номінального та фактичного розрахункового навантаження приміщення учбової аудиторії, що в цілому відображає стан питання відповідностей проєктованих та необхідних фактичних витрат повітря наведено на рис. 1.

Аналізуючи визначені графіки можна зробити висновок, що фактична витрата повітря може складати щонайменше 3% від максимального значення, в

середньому вона становить близько 35-43%, що дає обґрунтування доцільності впровадження VAV системи в даному конкретному випадку. VAV системи працюють по спрощеному режиму роботи – без точного регулювання витрати повітря в приміщенні, а тільки в режимі «відкрито-закрито» тобто якщо в аудиторії ідуть заняття повітря подається, якщо в приміщенні відсутні люди подача та видалення повітря припиняються. Сигнал на відкриття-закриття клапанів в кожному окремому приміщенні, тобто підтвердження там наявності людей дається датчиком руху з таймером затримки 10 хвилин.

В розглянутому випадку система не керується температурними показниками приміщень, регульованою є витрата припливного та витяжного повітря для потреб саме вентиляції. Враховуючи, що основною шкідливістю при перебуванні людини у приміщенні яка має найбільший вплив на працездатність людини при допустимих умовах за температурою і відносною вологістю в приміщенні є вміст двоокису вуглецю в повітрі. Згідно з діючим нормативом [1, 4] при проектуванні систем вентиляції необхідно враховувати допустимий рівень CO₂ у будівлі або окремому приміщенні. Необхідну витрату повітря визначають на основі рівняння масового балансу для концентрації CO₂. Рівні за вмістом CO₂ відповідають нормам витрат зовнішнього повітря на людину (з певним рівнем активності) для приміщень діючі норми враховують типові виділення від діяльності людей у житлових та громадських будівлях з низьким рівнем забруднення. В закордонній практиці проектування та експлуатації систем мікроклімату вміст двоокису вуглецю в повітрі житлового або громадського приміщення є основним індикатором якості проектного рішення та ефективного функціонування системи вентиляції [5].

Вентиляційна система VAV сконструйована за універсальним принципом, завдяки чому вона може бути швидко адаптована до нових умов експлуатації в разі модернізації або перебудови будівлі. Це відноситься також і до системи управління. Використання нових технологій управління дозволяє підключити її до загальної системи диспетчеризації на основі інших протоколів.

Виходячи з вищенаведеного, найбільш істотними перевагами вентиляційних систем зі змінною витратою повітря є можливість регулювання параметрів повітря в окремих приміщеннях, можливість використання датчиків руху, датчиків CO₂ та реле часу для керування системою, зниження споживання теплової та електроенергії, можливість переобладнання вентиляційної системи відповідно до нових умов.

Для визначення доцільності впровадження та аналізу ефективності систем зі змінною витратою повітря в фактичних умовах використання приміщень навчальних закладів виконано розрахунок вартості та експлуатаційних річних витрат на прикладі приміщення корпусу №6 будівельного факультету ДВНЗ «КНУ». Фактичні повітрообміни прийнято на основі проектних даних та з коригуванням на середню кількість студентів у групі, що складає 30 чоловік. Представлені аудиторії передбачають перебування однієї групи студентів, потокові аудиторії розташовані в іншому крилі будівлі та до розрахунку не приймаються. Загалом в навчальному процесі задіяно 36 аудиторій на шести поверхах. В існуючому варіанті систем вентиляції, системи вмикаються о 9 годині і працюють до 17 години відповідно до загального розкладу занять.

Враховуючи витрати повітря та режими роботи приміщення для виконання реконструкції системи вентиляції з впровадження принципу змінної витрати повітря до встановлення приймаються VAV-термінали на підключенні кожного приміщення за схемою розташування.

Забезпечення змінної витрати вентиляторами припливних установок вентиляційних систем виконується встановленням частотних регуляторів обертів вентиляторів припливного та витяжного відповідно, з підтриманням постійного тиску в каналі на нагнітання, що забезпечує швидку зміну витрати повітря вентилятором при відкритті-закритті клапанів терміналів. Для цього вибрано частотний регулятор ПЧВ204-11К-В (11кВт 3х380В 21.0А) та 7,5кВт відповідно.

Згідно розрахунку загальна вартість основного обладнання при впровадженні принципу змінної витрати повітря на прикладі існуючої системи вентиляції становить близько 680 тис. грн. Вартість з урахуванням монтажних робіт становить близько 816 тис. грн.

Відповідно до дослідженого фактичного коефіцієнта завантаженості приміщень розраховано вартість теплової енергії за опалювальний сезон з урахуванням змінної витрати відповідно до розкладу занять, що становить 20716,23 кВт (17,8 Гкал). Розрахунки показують, що впровадження передових енергозберігаючих технологій, а в даному випадку VAV-системи, дають істотну економію коштів. Порівняння експлуатаційних витрат існуючого варіанту та після здій-

снення реконструкції з застосування принципу VAV-системи дає змогу досягти зменшення витрат зменшення витрат теплової енергії на 44,03 Гкал/рік, зменшення електроспоживання складає 20546 кВт•год/рік, що відповідно у відсотках до первинного значення споживання теплової енергії становить зниження на 70%, електричної енергії на 92% в даному конкретному розрахунку.

Висновки та напрямок подальших досліджень. За результатами виконання дослідження можна зробити висновок про безперечну доцільність та перспективність використання вентиляційних систем зі змінною витратою повітря при проектуванні та реконструкції систем вентиляції насамперед будівель начальних закладів та інших будівель з явно вираженим та визначеним за часом доби режимом експлуатації приміщень. При виконанні розрахунку та проектуванні систем вентиляції за принципом змінної витрати повітря основним чинником є коефіцієнт завантаженості приміщення, що для громадських будівель може визначатися в досить широкому діапазоні значень щодо розрахункових даних та потребує як теоретичного визначення так і впровадження комплексу заходів та засобів контролю завантаженості приміщення для автоматизації роботи систем вентиляції, одним з яких є контроль вмісту двоокису вуглецю в повітрі приміщення.

Список літератури

1. ДБН В.2.2-9-2009. Будівлі і споруди. Громадські будинки і споруди. – Офіц. вид.-(чинний від 01.10.2010р.). – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 50 с. – (Державні будівельні норми України).
2. ДБН В.2.2-3-97. Будинки та споруди навчальних закладів. Офіц. вид.-(чинний від 01.01.1998р.). – К.: Держкоммістобудування України, 1997. – 51 с. – (Державні будівельні норми України).
3. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Офіц. вид. – (чинний від 01.01.2014р.). – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 141 с. – (Державні будівельні норми України).
4. Вентиляція громадських будівель. Вимоги до виконання систем вентиляції та кондиціонування повітря (EN 13779:2007, IDT). – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 101 с. – (Державні будівельні норми України).
5. Стандарт EN 13779:2004. Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems..
6. **Веслав С., Яцек Х.** Системы VAV Краткое описание. – Краков, 2009. – 80 с.

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

УДК 622.235:622.271

А.А. СКАЧКОВ, горный инженер, «ГДД МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ»

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗОН В РАЗРУШАЕМОМ ВЗРЫВОМ МАССИВЕ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМ ЕГО ЭНЕРГОНАСЫЩЕНИИ

В статье анализируются геомеханические условия, при которых взрывное разрушение кристаллических пород осуществляется посредством взаимодействующих скважинных зарядов. Также учитываются особенности формирования зон вокруг заряда с различным напряженным состоянием горных пород.

Цель. Основной целью исследования является определение наиболее значимых факторов, влияющих на свойства горных пород при формировании в них силовых полей. И оно посвящено решению актуальной проблемы – снижению удельного расхода взрывчатых веществ для разрушения горных пород путем изменения порядка выполнения последовательности инициирования скважинных зарядов при их подрывании. Это учитывает взаимодействие взрывных нагрузок от разных зарядов.

Методами исследования являются анализ геологических данных по железорудным месторождениям Кривбас-са, проектной документации, данных добычи руд горных предприятий и открытых разработок, научные публикации и их последующий анализ и синтез и разработка научных положений.

Результаты исследования. Для теории и практики ведения взрывных работ важно знать особенности формирования и взаимодействия силовых полей скважинных зарядов ВВ, взрывааемых в одной ступени замедления. Основную роль в процессе разрушения горного массива при этих условиях играют зоны I и II силовых полей разрушения. Подбором $P(t)$ (величина импульса заряда взрывной полости) в каждом из взаимодействующих зарядов, можно регулировать процесс взрывного нагружения в зависимости от конкретных горно-геологических условий ведения взрывных работ. За счет изменения способов формирования и порядка взрывания зарядов ВВ в разрушаемом объеме можно влиять на процесс разрушения, зная особенности формирования силовых полей.

Характер формирования и основные характеристики зоны III – важны для изучения процесса разрушения горного массива, приведенного в напряженное состояние от ранее взорванных скважинных зарядов ВВ.

Выводы. Учитывая временные и геометрические характеристики зоны Ш, можно предположить, что напряженное состояние горного массива будет полностью отвечать физическим параметрам интегральной зоны, образованной от ранее взорвавшихся скважинных зарядов ВВ. Полученные результаты могут быть использованы для разработки взрывных технологий, основанных на разрушении горного массива, приведенного предварительно в напряженное состояние от взрыва зарядов ВВ, например, малой мощности.

Оригинальность заключается в определении комплексного подхода к решению указанной проблемы и ряде технических решений.

Практическое значение. Дальнейшее развитие и производственное применение результатов исследований обеспечит значительное снижение себестоимости железорудной продукции за счет повышения эффективности буровых и взрывных работ в железорудном карьере.

Ключевые слова: горная порода, взрывное разрушение, карьер, взрывные волны, взрывные работы, скважинные заряды.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-185-190

Постановка проблемы. Традиционные методы ведения взрывных работ в карьерах объединяет то, что уступ горных пород наиболее неравномерно разрушается в зоне, прилегающей к откосу, в результате чего образуется горная масса из самых неоднородной кускуватистую [1]. Исключительно сложное напряженно-деформированное состояние породного массива в этой части при взаимодействии скважинных зарядов, подрываемых в первом и втором рядах, является одной из главных причин неконтролируемого выхода негабаритной фракции при выполнении взрывных работ, что отрицательно сказывается на технико-экономических показателях всего горнодобывающего производства, поэтому поиск путей решения данной задачи является **весьма актуальным** [2-3], так как в свою очередь способствует **решению проблемы** повышения эффективности буровзрывных работ.

Анализ последних исследований в теории взрывного разрушения кристаллических массивов и практики БВР, **одним из наименее исследованных теоретически и нерешенных практически вопросов** является неравномерное влияние на формирование взрывом нагрузки краевой части уступа, оптимизировать что становится возможным при целенаправленном использовании эффектов развития динамической зоны разрушения, создаваемой силовыми полями взаимодействующих зарядов приконтурных рядов [4-6]. В связи с этим в исследования **закладывалась идея** возможности целевого использования динамических эффектов, проявляющихся при взаимодействии скважинных зарядов, для решения чего задачи исследований формулировались в соответствии с нею, а именно: заряды первого ряда скважин инициируются после подрыва зарядов второго, образуя благодаря благоприятному формированию напряженного состояния массива более оптимальную динамическую зону в соответствии с конкретными условиями.

Изложение материала исследования. Продукты детонации, действующие на стенки зарядной камеры, образуют в разрушаемом горном массиве очень неоднородное сложное поле напряжений, распространяющееся со скоростью, определяемой физическими свойствами разрушаемой среды. Еще более общий тензор напряжений усложняется, когда подрываемый породный массив разрушается комбинированными скважинными зарядами, состоящими из компонентов с различными детонационными характеристиками, каковыми являются предлагаемые автором (рис. 1).

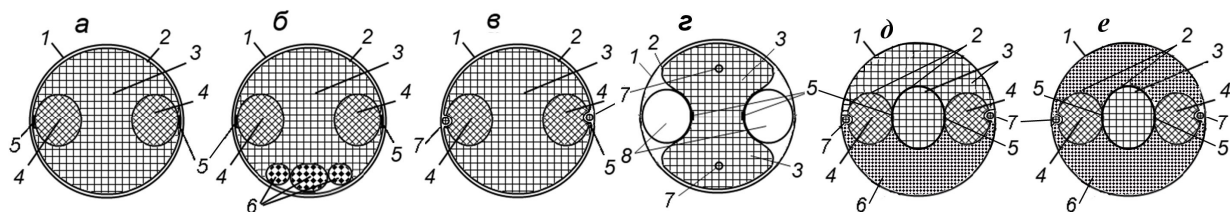


Рис. 1. Поперечное сечение скважинных зарядов парных рядов: 1 – скважина; 2 – полимерный рукав; 3 – низкобризантный заряд; 4 – линейные высокобризантные заряды; 5 – места пропайки рукава; 6 – инертные демпферы; 7 – ДШ; 8 – воздушные образователи кумулятивных желобов

В реальных условиях, даже при равномерном напряжении, поля напряжений имеют локальную неоднородность. На берегах трещин концентрируются напряжения. Этот процесс во

многим зависит от их конкретных размеров. Когда величина напряжений достигает некоторой величины σ_i , трещина начинает расти с определенной скоростью (рис. 2 а). При этом процесс развития трещин становится необратимым. Для разрушения хрупкой среды необходимо и достаточно, чтобы удовлетворялось условие $\varepsilon \geq \varepsilon_p$, где ε – относительная деформация среды от воздействия взрыва; ε_p – максимально возможная относительная деформация.

Для изучения особенностей формирования силовых полей разрушения при взрывной отбойке горных пород скважинными зарядами ВВ рассмотрим структуру и закономерность формирования области разрушения цилиндрического заряда на основе теоретических схем и условий, приведенных в работах [7-9].

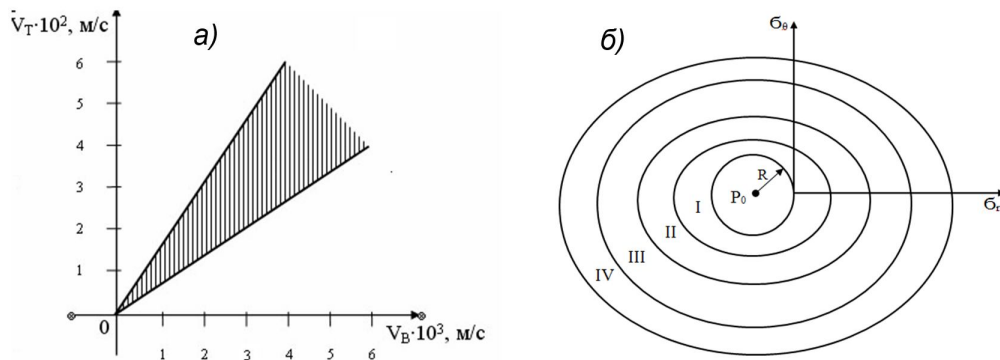


Рис. 2. Зависимость процесса развития трещин от скорости распространения волн напряжений (а) и схема структуры области разрушения цилиндрического заряда ВВ (б)

Введем следующие обозначения: зона I – область $\sigma_\theta - \alpha \sigma_r = \beta$, $\sigma_r < \sigma_\theta < 0$ в плоскости напряжений σ_r, σ_θ и соответствующая ей область разрушения, зона II – область $\sigma_\theta = 0$ в плоскости напряжений и соответствующая ей область разрушения, зона III – область возмущенного физического пространства, где среда находится в неразрушенном состоянии. Зоны I, II, III располагаются в порядке их удаления от взрывной полости (рис. 2 б).

Поверхность разрушения находится на границе зон II и III. Для рассматриваемого случая линейные соотношения между напряжениями σ_r и σ_θ имеют вид: $\sigma_\theta = \alpha \sigma_r + \beta$, ($0^\circ < \delta < 90^\circ$), где $\alpha = \frac{1 - \sin \delta}{1 + \sin \delta}$, $\beta = \frac{2k \cos \delta}{1 + \sin \delta}$. Здесь k и δ – коэффициент сцепления и угол внутреннего трения.

Для того чтобы указать общую замкнутую систему уравнений для описания процесса разрушения твердой среды под действием взрыва, остановимся на представлении о разрушении фиксированной материальной частицы.

Если ударная волна сжатия вначале имеет большую интенсивность, то разрушение частицы происходит непосредственно на переднем фронте волны. В этом случае поверхность разрушения совпадает с фронтом ударной волны. Если интенсивность ударной волны недостаточно велика, то скорость распространения поверхности разрушения – меньше скорости распространения переднего фронта возмущения и величина поверхности разрушения является постоянной и зависит от прочностных свойств разрушаемой среды. В этом случае вначале частица в неразрушенном состоянии подвергается некоторому возмущению, находящемуся в упругой области, а затем начинается постепенное разрушение. Дробление частицы тем больше, чем ближе она расположена к месту взрыва. Поверхности разрушения, как некоторой границе возможной полости в разрушаемой среде, придается геометрический смысл.

Для рассматриваемых зон основного поля разрушений цилиндрического заряда будем считать процесс расширения газа в полости квазистатическим и политропным:

$$P r_1(t)^{3\gamma} = P_0 \cdot R^{3\gamma}, \quad (1)$$

где $r_1(t)$ – радиус взрывной полости в момент времени t , γ – показатель политропы.

Компонентами вектора смещения и скорости материальной частицы будут радиальные составляющие u и v . В рассматриваемом случае использована эйлерова координата r и начальная координата r_0 материальной точки.

Для зоны I система уравнений имеет вид:

$$\text{уравнение движения} - \rho(\partial v / \partial t + v \partial v / \partial r) = \partial \sigma_r / \partial r + 2(1 - \alpha)(\sigma_r - 2\beta)r^{-1};$$

уравнение сохранения массы

$$r^{-2} \partial(r^2 v) / \partial r = 0 \quad (2)$$

и следующие тождества:

в эйлеровых координатах – $r = r_0 + u(r, m)$, $v = \partial u / \partial t + v \cdot \partial u / \partial r$;

в лагранжевых координатах – $r = r_0 + u(r_0, m)$, $v = \partial r / \partial t = \partial u / \partial t$.

Согласно законам сохранения массы

$$v = f'(t) r^{-2}, \quad (3)$$

где $f(t)$ – произвольная функция.

Тогда с учетом изложенного

$$u = r - f_2(r^3 - 3f(t)). \quad (4)$$

$\sigma_r = f_1(t) \cdot r^{-2(\alpha+1)} + \beta(1-\alpha)^{-1} - \rho f_1'' \cdot r^{-1} + \rho f_1'^2 \cdot 1/2r^4$, где $f_1(t)$ и $f_2(t)$ – произвольные функции.

Из условия (1) находим f_1 и в результате получаем

$$\sigma_r = \left(\frac{r_1}{r}\right)^{2(1-\alpha)} \left(\frac{-\beta}{1-\alpha} - \alpha_0 r_1^{-3} + \frac{\rho f_1''(t)}{r_1} - \frac{\rho f_1'^2(t)}{2r_1^4} \right) + \frac{\beta}{1-\alpha} - \frac{\rho f_1''(t)}{r} + \frac{\rho f_1'^2(t)}{2r^4}, \quad (5)$$

где $\alpha_0 = P_0 R^{3\gamma}$.

Из первого равенства (4) можно найти $f_2(t)$, а $f_1(0)$ можно принять равным нулю. И в результате получим

$$u = r - r_0 = r - (r^3 - 3f_1(t))^{1/3}. \quad (6)$$

Общее решение исходных уравнений для зоны I дают формулы (3), (5) и (6). Данное решение содержит произвольные функции: $r_1(t)$ и $f(t)$.

Система уравнений для нахождения основных характеристик для зоны II имеет вид

$$\rho \partial^2 u / \partial t^2 = \partial \sigma_r / \partial r + 2\sigma_r / r;$$

$$\sigma_r = E \partial u / \partial r - P_0(1 - 2v);$$

$$\sigma_\theta = 0.$$

Общее решение задачи для зоны II выражается через две произвольные функции f_2 и f_1

$$u = r^{-1}(f_2(c_1 t - r) + f_3(c_1 t + r)) + r P_0(1 - 2v) E^{-1};$$

$$v = (c_1 / r)(f_2'(c_1 t - r) + f_3'(c_1 t + r));$$

$$\sigma_r = (E/r)(f_3'(c_1 t + r) - f_1'(c_1 t - r)) - (E/r^2)(f_2(c_1 t - r) + f_3(c_1 t + r)), \quad (7)$$

где $c_1 = \sqrt{E/\rho}$.

Система уравнений для зоны III определена согласно несжимаемости среды разрушения как

$$\rho_0 \partial^2 u / \partial t^2 = \partial \sigma_r / \partial r + 2/r(\sigma_r - \sigma_\theta);$$

$$\sigma_r = -P_0 - P + 2\mu \partial u / \partial r; \quad (8)$$

$$\sigma_\theta = -P_0 - P + 2\mu u / r;$$

$$\partial u / \partial r = -2ur^{-1}.$$

Общее решение данной системы имеет вид

$$u = r_0^{-2} \cdot f_4(t); \quad v = r_0^{-2} \cdot f_4'(t);$$

$$\sigma_r = -4\mu r_0^{-3} \cdot f_4(t) - \rho_0 r_0^{-1} \cdot f_4''(t) - P_0;$$

$$\sigma_\theta = 2\mu r_0^{-3} \cdot f_4(t) - \rho_0 r_0^{-1} \cdot f_4''(t) - P_0,$$

где $f_4(t)$ – произвольная функция напряжения на бесконечности по условию равна $-P_0$.

Представленное силовое поле разрушения, на плоскости цилиндрического заряда ВВ должно отвечать следующим требованиям: смещение – непрерывно; потоки массы и импульса при

переходе через зоны – сохраняются; на поверхности разрушения должно выполняться условие, определяющее θ .

Основные параметры силового поля (рис. 3) за достаточно большой промежуток времени ($t \rightarrow \infty$) определяются из условия, что произвольные функции $f_m (m = \overline{1,4})$ в общем решении превращаются в постоянные $c_m (m = \overline{1,4})$ и решения на основании формул (5)-(8) принимают следующий вид

$(r_1 < r < r_2)$ – зона I

$$u = r - r_0 = r - (r^3 - 3c_1)^{1/3} \quad (\sigma_r = \alpha\sigma_r + \beta);$$

$$\sigma_r = \left(\frac{r_1}{r}\right)^{2(1-\alpha)} \left(\frac{\beta}{\alpha-1} - \alpha_0 r_1^{-3\alpha}\right) + \frac{\beta}{1-\alpha}; \quad (9)$$

$(r_2 < r < r_3)$ – зона II

$$u = c_2 r^{-1} + r P_0 (1 - 2\nu) E^{-1} + c_4, \quad \sigma_r = -E c_2 r^{-2}, \quad \sigma_\theta = 0; \quad (10)$$

$(r_3 < r < \infty)$ – зона III

$$u = c_3 r^{-2}, \quad \sigma_r = -P_0 - 4\mu c_3 r^{-2}, \quad \sigma_\theta = -P_0 + 2\mu c_3 r^{-3}. \quad (11)$$

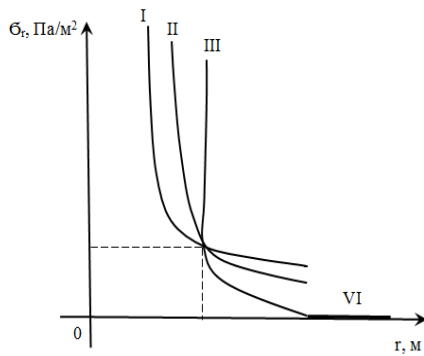


Рис. 3. Характеристика силового поля заряда ВВ

Окончательные размеры отдельных зон силового поля взрывного нагружения разрушаемой среды определяются как: $r_1 = R/\lambda$, $r_2 = (1 - \lambda^3)^{1/3} \cdot r_1$, $(0 < \lambda < 1)$, $r_3 = r_2 (E\eta_2 / P_0 + 4\mu\eta_3)^{1/2}$.

Для решений (9)-(11) постоянные $c_m (m = \overline{1,4})$ равны

$$c_1 = R^3 (1 - \lambda^3) / 3\lambda^3, \quad c_2 = \eta_3 r_2^2, \quad c_3 = \eta_3 r_3^3, \quad c_4 = -\frac{2P_0(1-\nu) + \eta_3(4\mu - E)}{Er_3^{-1}}.$$

Здесь η_2 и η_3 – положительные корни уравнений

$$\nu \cdot \eta_3^2 + 2\nu(3-\nu)\eta_2 \left(\frac{\beta}{E} - \alpha\eta_2\right) + (1+3\nu^2) \left(\frac{\beta}{E} - \alpha\eta_2\right)^2 = 0;$$

$$\nu^2 \left(\frac{P_0}{\mu} + 4\eta_3\right)^2 - 2\nu(3-\nu) \left(\frac{P_0}{\mu} + 4\eta_3\right) \left(\frac{P_0}{\mu} - 2\eta_3\right) + (1+3\nu^2) \left(\frac{P_0}{\mu} - 2\eta_3\right)^2 = 4(1+\nu)^3 \frac{\rho\theta}{E}.$$

Учитывая, что граница зоны I и II не является фронтом разрушения, при взрыве мощного скважинного заряда ВВ зона II возникает на сравнительно поздних стадиях процесса и на достаточном удалении от взрывной полости. В зависимости от давления газа в полости могут реализоваться самые различные сочетания зон I, II и III.

Для теории и практики ведения взрывных работ важно знать особенности формирования и взаимодействия силовых полей скважинных зарядов ВВ, взрывааемых в одной ступени замедления. Основную роль в процессе разрушения горного массива при этих условиях играют зоны I и II силовых полей разрушения. Подбором $P(t)$ (величина импульса заряда взрывной полости) в каждом из взаимодействующих зарядов, можно регулировать процесс взрывного нагружения в зависимости от конкретных горно-геологических условий ведения взрывных работ. За счет изменения способов формирования и порядка взрывания зарядов ВВ в разрушаемом объеме, можно влиять на процесс разрушения, зная особенности формирования силовых полей.

Характер формирования и основные характеристики зоны III важны для изучения процесса разрушения горного массива, приведенного в напряженное состояние от ранее взорванных скважинных зарядов ВВ.

Учитывая временные и геометрические характеристики зоны III, можно предположить, что напряженное состояние горного массива будет полностью отвечать физическим параметрам интегральной зоны, образованной от ранее взорвавшихся скважинных зарядов ВВ. Полученные результаты могут быть использованы для разработки взрывных технологий, основанных на

разрушении горного массива, приведенного предварительно в напряженное состояние от взрыва зарядов ВВ, например, малой мощности.

Выводы. В определенных горно-геологических условиях взрывание породных массивов, сложенных кристаллическими породами, рационально осуществлять с помощью взаимодействующих скважинных зарядов ВВ разной мощности и при этом первыми инициировать комбинированные заряды меньшей мощности, расположенные во втором от откоса уступа ряду скважин, как предлагается в разработанных автором способах ведения буровзрывных работ.

Список литературы

1. Физика взрыва / Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др./ Под ред. К.П. Станюковича. - М.: Наука, 1975. - 407 с.
2. Persson P.A., Holmberg R. and Jailing L.– Rock Blasting and Explosives Engineering, CRC Press, London, 1994. PP 540.
3. Бетин В.Д. Развитие детонации в скважинных зарядах с полыми цилиндрами // Разработка рудных месторождений. Научно-техн. сб. – Кривой Рог: изд-во КТУ, 2003. – Вып. 83. – С.68-74.
4. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Часть 1. - М.: Горная книга, 2009. - 471 с.
5. Перегудов В.В., Жуков С.А. Пути повышения качества взрывных работ при разрушении горных пород сложной структуры. Монография. - Кривой Рог: Издательский дом, ISBN 966-7388-47-6. 2002. - 305 с.
6. Антонов А.Ю., Кириченко И.А. Разработка технологии отбойки на нижних горизонтах железорудных карьеров // Вісник КТУ. Кривий Ріг: КТУ, 2004 - № 5. – С.16-20.
7. Кузнецов В.М. Математические модели взрывного дела. – Новосибирск: Наука, 1977. - 259 с.
8. <http://industry-portal24.ru/razrushenie/2738-udarno-volnovaya-teoriya-vzryvnogo-razrusheniya.html>
9. Перегудов В.В., Жуков С.А. Пути повышения качества взрывных работ при разрушении горных пород сложной структуры. – Кривой Рог: Издательский дом, 2002. – 179 с.

Рукопись поступила в редакцию 03.05.2018

УДК 66.047.7: [62-4+544.023.5]

О.В. ЗАМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., Д.В. ОМЕЛЬЧУК, аспирант
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ СУШКИ ТОНКОДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета. Метою даної роботи є аналіз стратегії вибору оптимального апаратурно-технологічного оформлення процесу сушіння конкретного матеріалу, що включає комплексний аналіз матеріалу як об'єкта сушіння.

Методи дослідження. У роботі використані теоретичні та емпіричні методи дослідження. Проведено аналіз сучасного стану парку сушильних установок, розглянуто найбільш поширені схеми сушки та виявлено найбільш ефективні методи інтенсифікації процесів сушки

Наукова новизна. В доповіді проаналізовані основні особливості сушки тонкодисперсних матеріалів. Зроблено висновок про енергоефективність та економічність сушильних апаратів, це і зумовило актуальність даної теми дослідження.

Практична значимість. Аналіз сучасних методів сушки тонкодисперсних матеріалів дозволив виявити основні проблеми галузі та знайти найбільш ефективні методи інтенсифікації процесу сушки. Був визначений оптимальний режим сушки з урахуванням технологічних вимог до якості висушеного продукту; розроблена комплексна класифікація матеріалів як об'єктів сушки з виходом на конструктивне оформлення сушильних установок, обґрунтовано визначення часу сушіння, рекомендований порядок вибору сушильних апаратів для тонкодисперсних матеріалів

Результати. При сушінні дисперсних матеріалів важливою проблемою є забезпечення екологічної та виробничої безпеки сушильних установок. Проаналізувавши різновиди сушки тонкодисперсних матеріалів ми можемо помітити, що кожен з видів має свої переваги та недоліки в процесі експлуатації, але застосування методу сушіння тонкодисперсних матеріалів шляхом пропускання змінного електричного струму безпосередньо через шар вологого матеріалу забезпечує найкращі показники енергозбереження, екологічності та енергоспоживання. Один з центральних питань - забезпечення очищення від пилу і створення безуносних сушилок. Були розглянуті основні методи зневоднення тонкодисперсних матеріалів, вивчені теоретичні та механічні засади сушильних процесів. В подальшому планується встановлення закономірностей даного методу для поліпшення якості кінцевого продукту і підвищення енергоефективності процесу сушки тонкодисперсних матеріалів.

Ключові слова: тонкодисперсні, інтенсифікація, сушильні апарати, енергоефективність.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-190-196

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Поміж всіх матеріалів які підлягають сушінню частка дисперсних і диспергіруємих становить близько 85% у всіх галузях промисловості, включаючи паливно-енергетичний і аграрно-промисловий комплекси [1].

Процес сушіння є самим енергоємним серед всіх технологічних процесів і тому при виборі технології сушіння особливу увагу слід приділити енергетичними показниками процесу. Раніше оцінка енергетичних показників апарату для сушки включала лише оцінку інтенсивності роботи. Однак, при сучасному темпі розвитку науки і техніки з урахуванням економіки і потреб ринку слід доповнити поняття ефективності наступними параметрами: економічність, якість одержуваного продукту і безпеку (в тому числі екологічну і виробничу).

Стратегія вибору оптимального апаратурно-технологічного оформлення процесу сушіння конкретного матеріалу повинна включати шість основних етапів: 1) комплексний аналіз матеріалу як об'єкта сушіння; 2) визначення типу сушарки на основі комплексного аналізу та наявних класифікацій сушильних апаратів; 3) визнання оптимального режиму сушки з урахуванням технологічних вимог до якості висушеного продукту; 4) розрахунок апарату з урахуванням необхідної продуктивності; 5) забезпечення екологічної та виробничої безпеки технологічного процесу; 6) економічний розрахунок [2].

При комплексному аналізі дисперсних матеріалів як об'єкта сушіння виділяють 5 груп характеристик: термічні (теплопровідність, температуропровідність, теплоємність та інше), гігро-термічної і кінетичні (види зв'язку вологи з матеріалами, термограми і енергограми, криві сушіння та ін.); гідромеханічні (розмір, форма частинок, швидкості псевдооживлення і витання, кут природного укосу, адгезіон-аутогезіонні властивості та інше); сорбційно-структурні (ізотерми сорбції-десорбції, аморфність і кристалність, криві розподілу пор за розмірами та ін.); технологічні (необхідна залишкова вологість, допустимі температури, вибухопожежної властивості і багато інших) [3].

Вчені які всесторонньо займались питанням сушки тонкодисперсних матеріалів існує не велика кількість, серед них є: А. В. Ликов, О. В. Замицький, Г. К. Іваніцький, А. А. Долінський, В. Ф. Фролов, С. П. Рудобашта, Б. С. Сажин та ін.

Постановка завдання. Метою даної статті є аналіз стратегії вибору оптимального апаратурно-технологічного оформлення процесу сушіння конкретного матеріалу, що включає комплексний аналіз матеріалу як об'єкта сушіння.

Викладення основного матеріалу. Перш ніж, ми докладно зупинимося на кожному способі сушіння, розглянемо коротко традиційний процес нагріву. Джерелами нагрівання служать, наприклад, нагрівальні елементи опору і інфрачервоні промені, хоча ці елементи знаходяться в середовищі матеріалу що нагрівається. Завдяки температурному випромінюванню і конвективного теплообміну їх енергія передається на поверхню матеріалу і звідти переміщується у внутрішню частину, для того щоб забезпечити наскрізний прогрів матеріалу. Теплопровідність, адсорбція і питома теплоємність матеріалу визначають при цьому, головним чином, процес нагрівання.

Способи зневоднення матеріалів діляться на механічні і теплові. До механічних способів відносяться: відсмоктування, фільтрування, центрифугування та ін. Механічні способи зі зміною тиску можливі лише в тому випадку якщо сушильні матеріали допускають якусь деформацію. Недоліком є не висока кінцева вологість продукту.

Теплові способи видалення вологи набули найбільшого поширення. Вони так само діляться на природні і штучні. Природна сушка відбувається на відкритому просторі. Сушильним агентом і джерелом тепла, необхідного для випаровування вологи з матеріалу, є атмосферне повітря і сонячна енергія. Такий спосіб застосовується для сушіння великого обсягу матеріалу, який не має спеціальних вимог до умов сушки. До недоліків природної сушки в порівнянні зі штучною відносяться: велика тривалість, висока залежність інтенсивності і кінцевої вологості від зовнішніх кліматичних умов, для розміщення матеріалу потрібні великі території і складна система логістики.

Штучна сушка матеріалів проводиться в спеціальних установках, передбачуваних примусовий вплив газового середовища, що поглинає водяні пари з поверхні матеріалу, що висушується. Установки для штучної сушки мають ті ж теоретичні основи роботи, як і класичні тепло-і масообмінні апарати. За способом підведення теплоти ці установки підрозділяються на конвективні, контактні, радіаційні та радіаційно-конвективні. Кондуктивну і комбіновану кондуктивно-конвективну сушки зазвичай об'єднують в єдину назву - контактна.

При сушінні тонкодисперсних матеріалів найбільш часто використовують апарати наступних конструкцій: камерні, конвеєрні, барабанні, шнекові, з псевдозрідженим шаром, струмами високої частоти. Вибір конструкції сушильних установок залежить від багатьох факторів, а саме: від властивостей матеріалу, вимог, що пред'являються до висушеному матеріалу, технологічних режимів сушіння, виду сушильного агента і його параметрів, способу підведення теплоти, виду теплоносія, компактності установки, умов її обслуговування та ін. Камерні сушильні апарати мають найпростішу конструкцію серед усіх вище перерахованих [4].

Для виявлення «найкращого» способу сушки тонкодисперсних матеріалів проаналізуємо детальніше кожен з них.

Найбільш розповсюдженим є спосіб з використанням барабанних сушильних установок. Вони призначені для сушіння різних вибухо- і пожежонебезпечних нетоксичних сипучих (кускових і зернистих) матеріалів, наприклад, піску, вугілля, глини, вапняку, алюмінієвої стружки, пастоподібних матеріалів і т.д. Сушильним агентом є топкові гази або гаряче повітря. Використовуються в виробництвах хімічної та інших галузей промисловості. Барабанні сушилки - апарати безперервної дії. Основний вузол сушилки - циліндричний зварний барабан, встановлений на роликівих опорах з нахилом (1-4°) в бік вивантаження продукту. Привід барабана - від електродвигуна через редуктор і зубчасту передачу.

У початковій по ходу продукту зоні барабана встановлена приймально-гвинтова насадка (в цій зоні продукт, переміщуючись, попередньо підсушується), за нею – лопатева (для рівномірного розподілу і перемішування сушеного продукту при обертанні барабана по його перетину з метою забезпечення розвиненою поверхні контакту з гарячим теплоносієм) і комбінована лопатево-секторальна. Для сушки високовологих матеріалів (вугільного концентрату) освоєні моделі сушарок з ланцюговою насадкою [5]. Рециркуляція газів, що відходять не застосовується, так як для цього необхідно споруджувати складні пристосування для очищення газів. Сушка здійснюється при температурі 120 градусів у відсіках барабанів. На період сушіння продукт віддає 0,5-10% вологи. Сушка з використанням топкових газів, а також сушка з більш високою температурою не проводиться, з міркувань техніки безпеки, оскільки азотнокислотний амоній є вогнебезпечним хімічною речовиною. Продуктивність сушки може складати 150-100000 кг/год.

Барабанні сушилки, перед шахтними, ромбічними або іншими сушилками, мають ряд переваг. Такі сушилки універсальні, надійні в роботі і прийнятні за ціною, споживають мало електроенергії і просто монтуються, так як для їх запуску не потрібні капітальні споруди. Вони рівномірно нагрівають і сушать частки продукту за рахунок посиленого помішування матеріалу. З їх допомогою можна виробляти сушку дуже вологого і засміченого матеріалу. Головна відмінність сушилок барабанного типу – відрізняються високою продуктивністю, сушка в них відбувається набагато швидше, ніж в шахтних сушилках. Гранульований вологий продукт, що надійшов з гранулятора, направляється на просушування в обертовий барабан. Після чого він проходить наступні процедури: розсівання, охолодження, кондиціонування та упаковку.

Сушка крейди, піску та інших матеріалів в барабанних сушилках здійснюються з циклонами для уловлювання пилу. Зазвичай, для дроблення матеріалів застосовуються шоківі дробарки, для більш детального подрібнення - бігуни, а також молоткові дробарки. Весь набір матеріалів, які становлять скляну шихту, в обов'язковому порядку пропускають через сито, щоб великі частинки могли встигнути розплавитися в печі. Матеріали, підготовлені зазначеним способом, проходять процедуру змішування в вагових відносинах до отримання більш-менш однорідної суміші, яка занурюється в піч для варіння скла[6].

На другому місці атмосферні установки для сушки це тунельні сушилки, вони мають ще й другу назву – коридорні. Дане найменування прямо пов'язане з основним елементом конструкції - довгим каналом (тунелем), уздовж якого на транспортуючому пристрої (вагонетках) по рейках переміщується вологий матеріал.

У ролі сушильного агента тут виступає повітря або ж топкові (димові) гази. З метою прискорення процесу сушки використовують циркуляцію однієї і тієї ж кількості теплоносія, пропускаючи його через канал по кілька разів. Подібний прийом дозволяє збільшити швидкість, вологість і середню температуру гарячого повітря, що позитивно відбивається на тривалості сушки і її рівномірності.

Установки коридорного типу класифікують на одноходові і багатходові. Перші допускають паралельний рух висушуваних виробів, другі – послідовне їх переміщення. Там, де це

можливо, тунельну одноходову сушилку, що відрізняється значною довжиною, набагато доцільніше зробити багатоходовою. В цьому випадку знизяться теплові втрати через зовнішні огороження за рахунок зменшення протяжності останніх.

Важливе значення для всіх сушильних установок подібної конструкції має циркуляція повітря. Найбільш раціональна робота відповідає принципу протитоку з оптимальною швидкістю пропускання теплоносія не менш 2-3 м/с. Що ж стосується кількості, що проходить уздовж коридору сушильного агента, то воно залежить від продуктивності сушилки. З метою підвищення рівномірності сушки, яка «страждає» за рахунок нерухомості матеріалу, канали роблять великої довжини – аж до 40 м. При цьому протяжність тунелю в 50 м вважається критичною в зв'язку з різким зростанням опору системи.

У порівнянні з коридорними сушилками з частковим поверненням відпрацьованого теплоносія, набагато кращою ефективністю відрізняються установки подібної конструкції але з проміжним підігрівом повітря. Чотири окремі зони, призначені для нагрівання сушильного агента, дозволяють значно поліпшити показники процесу сушки. Тут можна виділити наступні переваги:

зниження перепаду температур на вході/виході повітря;

збільшення швидкості теплоносія як в поздовжньому, так і в поперечному напрямках;

висока економічність процесу за рахунок хорошої рівномірності і швидкості сушки при порівняно низьких температурах.

Якщо проаналізувати камерні сушильні установки з псевдозрідженим шаром то можна помітити що вона може обробляти велику різноманітність матеріалів, що піддаються сушці в псевдозрідженому шарі, схеми і конструкції сушильних апаратів які мало відрізняються один від одного. Змінюються лише способи подачі матеріалу і в деяких випадках конструкції робочих решіток. Найбільшого поширення набули апарати безперервної дії, у них менше питома витрата палива, вище к.к.д. Повністю використовується робочий простір сушильної камери. У виробничих умовах перевага віддається однокамерним апаратам, які в порівнянні з багатокамерними простіше у виготовленні, експлуатації та організації автоматичного управління.

Камерні сушильні установки з псевдозрідженим шаром призначаються для сушки дрібнозернистих матеріалів: піску, вугілля, вапняку, мінеральних і органічних солей, зерна, а також для сушки матеріалів що грудкуються: сульфату амонію, деяких полімерів, волокнистих і пастоподібних речовин. В апаратах подібного типу можна виконувати і випарювання розчинів, розплавів і суспензій.

Незважаючи на велику різноманітність матеріалів, що піддаються сушці в псевдозрідженому шарі, схеми і конструкції сушильних апаратів мало відрізняються один від одного. Змінюються лише способи подачі матеріалу і в деяких випадках конструкції робочих решіток. Однокамерні сушилки мають більш високі техніко-економічні показники і займають меншу площу, ніж, наприклад, барабанні і багатокамерні.

Апарати з псевдозрідженим шаром придатні для сушки матеріалів в середовищі газів як з помірною (200-300°C), так і з високою (1000°C) температурою. Однак температура сушильного агента і особливо поверхні решітки повинна бути нижче температури розм'якшення оброблюваного матеріалу. Деякі конструкції апарату передбачають охолодження решітки. При сушінні зернистого матеріалу не допускається спалювання палива в псевдозрідженому шарі внаслідок високої температури шару, великих втрат теплоти з газами, що відходять і перегріву, а можливо і зміни властивостей матеріалу. Питома витрата теплоти в сушилках з псевдозрідженим шаром $q = 3700 - 4500$ кДж / кг вологи; палива - $b = 0,127 - 0,160$ кг у.т. / кг вологи; електроенергії $\Delta N = 0,05 - 0,08$ кВт / кг вологи.

Натомість розглядаючи наступну групу труба-сушилка, то можна помітити що для створення такої системи необхідно, щоб швидкість потоку в вертикально або похило розташованій трубі була більше швидкості витання часток і запас фізичної теплоти сушильного агента був достатнім для нагрівання матеріалу і випаровування певної кількості вологи. Залежно від розмірів частинок, властивостей матеріалу і температури газів швидкість потоку в трубі сушарки може змінюватися від 10 до 40 м/с. Найбільш оптимальним, економічно обгрунтованим вважається розмір часток, що не перевищує 8-10 мм. Зі збільшенням розміру часток ефективність сушіння зменшується.

Короткочасне перебування (від двох до десятих долей секунди) дрібних частинок в обсязі сушильного агента і видалення при цьому в основному вільної вологи дозволяють застосовува-

ти на вході в трубу сушильний агент з підвищеною температурою від 100 до 800°C, а на виході - до $t_r'' = 100 - 150$ °C. Подача матеріалу з деякою швидкістю назустріч висхідному потоку газу сприяє підвищенню ефективності установки, і навпаки, зменшує при введенні матеріалу паралельно нисходяще потоку що рухається. Довжина (висота) і діаметр труби сушарки повинні бути достатніми для здійснення сушіння матеріалу до заданого вмісту вологи, але в той же час не повинні перевищувати: довжина - 25 м, діаметр - 1 м. Зі збільшенням висоти труби зростає опір системи, а отже, і витрата енергії на привід тягодутьєвих пристроїв. У тих випадках, коли допускається дроблення матеріалу або, навпаки, він настільки щільний, що не змінює своїх розмірів і форми при пересиланнях (наприклад зерно), нерідко застосовується рециркуляція матеріалу (часткове повернення в трубу-сушарку). Цей захід дозволяє скоротити довжину труби і сушити в такій системі сильно вологі матеріали, наприклад буре вугілля, фрезерний торф, деякі сорти піску, траву. Питома витрата теплоти в пневмосушілках змінюється в межах $q=3300\div 4600$ кДж/кг вологи; палива - $b = 0,115\div 0,165$ кг у.т./кг вологи [7].

До недоліків пневматичних сушилок слід віднести погіршення санітарних умов в порівнянні з іншими установками, підвищену схильність до вибухів, велика витрата електроенергії, підвищений знос труби і особливо на поворотах, при сушінні полідисперсних матеріалів спостерігається значний винос дрібного пилу.

Ще однією з основних розглянутих нами способів сушіння є терморадіаційна сушка. Відомо, що щільність теплового потоку випромінюванням q_d від одного тіла до іншого в діаметричному середовищі (повітрі) пропорційна різниці абсолютних температур цих тіл в четвертій ступені. Це означає, що при допустимих в процесі сушіння різницях температур і досить високих інтегральних ступенях чорноти поверхонь величина q_d буде в 10-40 разів більше, ніж при конвективному теплообміні. Для досягнення рівномірного опромінення доцільно застосовувати випромінювачі, форма поверхні яких відповідала б формі поверхні тіла, що нагрівається. Найбільш зручна форма випромінюючих поверхонь може бути створена з порожнистих панелей і каналів, що обігріваються топковим газом. Ця система обігріву випромінювачів економічніше ламп розжарювання, що використовують як джерело теплоти електроенергію. Отже, в терморадіаційних сушильних установках можна інтенсифікувати процес сушки без застосування великих швидкостей і високих температур сушильного агента. Однак інтенсивність сушки залежить не тільки від щільності теплового потоку на поверхні матеріалу, що висушується. На її величину впливають також умови поширення вологи всередині матеріалу і параметри на кордоні фазового переходу води в повітря, тобто коефіцієнт вологообміну і різниця парціальних тисків пара. Тому найчастіше за все радіаційна сушка застосовується при видаленні вільної вологи з поверхневих шарів тонкого матеріалу або розчинників з лакофарбових покриттів, коли умови поширення вологи всередині шару матеріалу не обмежують її надходження до поверхні випаровування.

Детальніше розглянемо методи сушки з використанням електричного струму. Розпочнемо з діелектричної сушки струмами високої частоти. Фізична сутність діелектричного нагріву полягає в наступному: у твердих тілах і рідких середовищах з поганою електричною провідністю (діелектриках), поміщених в швидкозмінне електричне поле, електрична енергія перетворюється в теплову.

У будь-якому діелектрику є електричні заряди, пов'язані міжмолекулярними силами. Ці заряди називаються пов'язаними на відміну від вільних зарядів в провідникових матеріалах. Під дією електричного поля пов'язані заряди орієнтуються або зміщуються в напрямку поля. Зсув пов'язаних зарядів під дією зовнішнього електричного поля називається поляризацією.

У змінному електричному полі відбувається безперервне переміщення зарядів, а отже, і пов'язаних з ними міжмолекулярними силами молекул. Енергія, що витрачається джерелом на поляризацію молекул непровідникових матеріалів, виділяється у вигляді тепла. У деяких непровідникових матеріалах є невелика кількість вільних зарядів, які створюють під дією електричного поля незначний по величині струм провідності, що сприяє виділенню додаткового тепла в матеріалі.

При діелектричному нагріванні матеріал, який підлягає нагріванню, поміщається між металевими електродами – обкладками конденсатора, до яких підводиться напруга високої частоти (0,5-20 МГц і вище) від спеціального високочастотного генератора. Установка для діелектричного нагріву складається з лампового генератора високої частоти, силового трансформатора і сушильного пристрою з електродами. Високочастотний діелектричний нагрів – перспектив-

ний спосіб нагріву і застосовується головним чином для сушіння й теплової обробки деревини, паперу, продуктів і кормів (сушіння зерна, овочів і фруктів), пастеризації і стерилізації молока і т. п. Недоліком цього способу можна назвати високу енергоємність процесу зневоднення і низьку продуктивність [8].

Дослідження по вельми ефективній сушці дрібного вугілля, розміром - 6 мм на установці безперервного дії проводилися в дослідницькому центрі Гірського Бюро в Міннеаполісі (штат Міннесота США). Досвідченими зразками виступали кам'яне і буре вугілля. Поряд з традиційною термічною сушінням, яка видаляє поверхневу вологу, новий спосіб застосування мікрохвильової сушки дозволяє позбутися від внутрішньої вологи. Особливістю нового методу є висока пропускна здатність передачі мікрохвильової енергії у воді на відміну від теплового процесу, коли велика частина енергії поглинається твердим тілом.

Сушильна лабораторна установка представляла собою конвеєр зі швидкістю руху стрічки до 1 м/хв. Над конвеєром розміщені два мікрохвильових генератора. Випари води видаляються витяжним вентилятором. Установка обладнана приладами контролю і управління, є відсік для дистанційного спостереження

Недоліками цього способу є необхідність застосування дисперсного електропровідного матеріалу в якості теплоносія, висока енергоємність і низька продуктивність, так як процес періодичний.

Відомий спосіб сушіння виробів з капілярно-пористих матеріалів шляхом поміщення їх в шар дисперсного електропровідного матеріалу що стискається і їх нагрівання пропусканням через останній електричного струму з використанням тепла, що акумулюється [9]. Даний спосіб відноситься до комбінованого і його недоліком є: висока енергоємність, так як енергія витрачається як на нагрів матеріалу, так і на виробництво теплоносія і низька продуктивність, так як процес носить періодичний характер.

Наостанок розглямо ще один спосіб сушки дисперсних матеріалів за допомогою електричного струму. Навідміну від способу з використанням СВЧ, де електрична енергія перетворюється на хвилю, в даному способі електричний струм пропускають безпосередньо через шар вологого матеріалу [10]. При цьому вологий матеріал приводять в контакт з електродами і включають безпосередньо в електричний ланцюг, через який пропускають електричний струм. При проходженні електричного струму через вологий матеріал в останньому виділяється тепла енергія, яка призводить до розігріву і випаровуванню міститься вологи. У зв'язку з тим, що при зменшенні вологості просушуємого матеріалу величина струму, що протікає через матеріал і кількість тепла, що виділяється мимовільно знижуються, контроль за процесом сушіння здійснюють за величиною струму, що протікає в ланцюзі. Вакуумна обробка або продування просушуємого матеріалу стисненим повітрям або іншим газом одночасно з пропусканням електричного струму полегшує видалення парів вологи і прискорює процес сушіння. Спосіб дозволяє з низькими енерговитратами (0,8-1,0 кВт год на 1 кг віддаленої вологи) просушувати вологі матеріали, наприклад гранульовані або механічно подрібнені шлаки кольорової металургії та продукти їх сепарації в водному середовищі. Спосіб може бути використаний в різних областях техніки, переважно в хіміко-металургійної промисловості, для сушки таких сипучих матеріалів, які у вологому стані є провідниками електричного струму, тобто містять електролітну вологу [11, 12]. Перевагою є перспектива розробки методу для визначення проміжних значень вмісту вологи в матеріалі, що висушується. Недоліками – необхідність забезпечення високого рівня електричної безпеки; суттєва залежність швидкості зневоднення та кінцевого вмісту вологи матеріала, що висушується, від електро-механічних властивостей матеріала та кількості і складу домішок у волозі.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином, проаналізувавши різновиди сушки тонкодисперсних матеріалів ми можемо помітити, що кожен з видів має свої переваги та недоліки в процесі експлуатації, але застосування методу сушіння тонкодисперсних матеріалів шляхом пропускання змінного електричного струму безпосередньо через шар вологого матеріалу забезпечує найкращі показники енергозбереження, екологічності та енергоспоживання. Перевагами даного способу є: найменша витрата умовного палива для випаровування 1 кг вологи, низькі економічні витрати при впровадженні на виробництво, низький рівень викидів забруднених газів в атмосферу.

В подальшому планується встановлення закономірностей даного методу для поліпшення якості кінцевого продукту і підвищення енергоефективності процесу сушки тонкодисперсних

матеріалів.

Список літератури

1. Данилов О.Л., Леончик Б.И. Экономия энергии при тепловой сушке. - М. - 1986.- 135 с.
2. Сажин, В.Б. Выбор и расчет аппаратов с взвешенным слоем/ В.Б. Сажин, М.Б. Сажина. – М. – 2001. – 336 с.
3. Сажин Б.С. Научные основы техники сушки/ Б.С. Сажин, В.Б. Сажин. – М.: Наука. – 1997. – 448 с.
4. Дерягин Б.В. Вода в дисперсных системах/ Б.В. Дерягин, Н. В. Чураев, Ф.Д. Овчаренко и др. – М.: Химия, 1989.– 288 с.
5. Корягин А.А. Сушильные аппараты и установки, каталог.- 1989.- с. 11
6. Фролов В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов.- Л.: Химия. - 1987.- 208 с.
7. Рудобашта С.П. Математическое моделирование процесса конвективной сушки дисперсных материалов// Известия Академии наук. Энергетика.- 2000. - №4.- С. 98-109
8. А.с. 1281845 СССР, 26В 3/347. Установка для высокочастотной сушки диэлектрических материалов / И.Б. Заманский, В.Х. Коен, О.П. Родионова, Г.А. Трошина. - №3894221/24-06 ; заявл. 11.05.85; опубл. 07.01.87, Бюл.№1.
9. А.с. 1015206 СССР, 26В 3/34, 5/14, 5/16. Способ сушки изделий из капиллярно-пористых материалов / И.М. Пиевский, И.З. Мильштейн. - №3363112/24-06 ; заявл. 04.12.81; опубл. 30.04.83, Бюл. № 16.
10. Замыцкий О.В. Экологически чистый способ доводки тонкодисперсных продуктов обогащения по влажности.- МГУ. - М.- 1995.-№ 3. – С. 82-84
11. Каварма И.И., Замыцкий О.В. Основные закономерности обезвоживания прямым воздействием электрического тока. Деп. рук. в ГНТБ Украины, 1994
12. Пат. 2143655 Российская Федерация, МПК F26B3/34. Способ сушки влажных сыпучих материалов / Ефимов В.Н.; Сидоренко Ю.А.; Агафонов Д.А.; Ельцин С.И.; заявитель и патентообладатель ОАО "Красноярский завод цветных металлов". - № 98113499/06; заявл. 13.07.98 ; опубл. 27.12.99, Бюл. № 2.

Рукопис подано до редакції 01.11.2017

УДК 001.57:681.5.015

А.М. МАЦУЙ, канд. техн. наук, доц.

Центральноукраїнський національний технічний університет

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІДЕНТИФІКАЦІІ СЕРЕДНЬОЗВАЖЕНОЇ КРУПНОСТІ РОЗВАНТАЖЕННЯ КУЛЬОВОГО МЛИНА І ПІСКІВ ОДНОСПІРАЛЬНОГО КЛАСИФІКАТОРА

Мета. Метою даної роботи є теоретичне дослідження ідентифікації середньозваженої крупності розвантаження кульового млина і пісків односпірального класифікатора за параметрами випадкового процесу розподілу твердого в невеликому контрольованому просторі при проходженні через нього потоку, спрямоване на можливість використання магнітоелектричної системи.

Методи дослідження. В роботі використані метод узагальнення результатів попередніх досліджень, аналізу результатів, отриманих прийнятим базовим методом, методи теорії імовірності, випадкових процесів, диференціювання функцій, моделювання, теорії чутливості, узагальнення, розмірностей, компенсації дії збурних факторів, електромагнітної індукції.

Наукова новизна. Вперше запропоновано підхід вимірювання середньозваженої крупності матеріалу в розвантаженні кульового млина і пісків односпірального класифікатора за параметрами випадкового процесу швидкості зміни об'єму твердого в невеликому контрольованому просторі, через який рухається потік або сприймаючий елемент відносно матеріального потоку.

Практична значимість. Отримана аналітична залежність електрорушійної сили магнітоелектричної системи, що взаємодіє з матеріальним потоком, від середньозваженої крупності часток твердого, на яку також впливають концентрація часток, вміст в них магнетиту та швидкість переміщення. Відсутність технічних засобів вимірювання середньозваженої крупності твердого в розвантаженні кульового млина і пісках односпірального класифікатора стримує удосконалення систем автоматизації перших стадій подрібнення-класифікації на рудозбагачувальних фабриках, що приводить до значних економічних збитків.

Результати. Запропонована аналітична залежність швидкості зміни об'єму твердого в невеликому контрольованому просторі, через який рухається матеріальний потік, дозволяє визначати середньозважену крупність часток руди у розвантаженні кульового млина і пісках односпірального класифікатора. Однак при цьому збурними факторами є концентрація твердого в контрольованому просторі і швидкість переміщення потоку. Вплив їх на результати вимірювання суттєвий – до $\pm 17,5\%$ і $\pm 33\%$. Найкращі результати можливо отримати, коли в контрольованому просторі знаходиться близько 200 часток твердого. При цьому можливо якісно здійснити вимірювання середньозваженої крупності твердого в межах її технологічних змін. Відтворити процес найбільш ефективно магнітоелектричною системою з визначенням її електрорушійної сили, яка, крім того, залежить від вмісту магнетиту в твердому. Коливання вмісту магнетиту легко компенсувати, вимірюючи зміну магнітного потоку відносно нормативного.

Ключові слова: середньозважена крупність, кульовий млин, піски класифікатора, магнітоелектрична система

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. У рудопідготовці на вітчизняних рудозбагачувальних фабриках допускаються значні перевитрати електроенергії і матеріалів. Особливо вони вагомі у першій стадії подрібнення-класифікації. Оскільки дана публікація присвячена розв'язанню задач інформаційного забезпечення автоматичного керування процесом подрібнення вихідної руди, її тема є актуальною. Актуальність публікації також підтверджується Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 липня 2013р. №603-р «Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової економічної програми розвитку промисловості на період до 2020 року» та планами наукової тематики Центральноукраїнського національного технічного університету, зокрема, тем «Комп'ютеризована система ідентифікації завантаження кульового млина при управлінні подрібненням руди» (0109U007939) та «Оптимізація продуктивності кульових млинів по руді і готовому продукту при мінімальних енергетичних і матеріальних перевитратах» (0115U003942).

Аналіз досліджень і публікацій. Автоматизацією рудозбагачувального виробництва вчені і практики займаються давно. В Україні особливо активно таку роботу проводять Моркун В.С. [1, 2], Купін А.І. [3], Поркуян О.В. [4], Назаренко М.В. [5], Моркун Н.В. [6] та інші. За кордоном такі дослідження здійснені Лінчем А.Дж. [7], Хербстом Дж.А. [8], авторами роботи [9] та іншими. Авторами роботи [10] доведено, що реальний шлях підвищення ефективності збагачення залізних руд – це автоматизація першої стадії подрібнення, класифікації та магнітної сепарації. В той же час в роботі [11] зроблено висновок, що існуючі проблеми до кінця не розв'язані. В цій же роботі відмічається, що необхідно розробляти сучасні інформаційні засоби. В роботі [3] звертається увага на відсутність надійних засобів контролю необхідної точності та на значну їх вартість. Це прямо відноситься до засобів контролю середньозваженої крупності матеріалу в розвантаженні кульових млинів перших стадій подрібнення руди та пісків односпірального класифікатора, які ніким не розроблялися. Виходячи з викладеного, дана стаття присвячується розв'язанню поставлених задач.

Постановка завдання. Метою даної роботи є теоретичне дослідження ідентифікації середньозваженої крупності розвантаження кульового млина і пісків односпірального класифікатора за параметрами випадкового процесу розподілу твердого в невеликому контрольованому просторі при проходженні через нього потоку, спрямоване на можливість використання магнітоелектричної системи.

Викладення матеріалу та результати. Нехай нерухомий контрольований простір, через який рухається потік пульпи чи сипкого матеріалу, має висоту h , ширину B і розмір вздовж напрямку переміщення a . Потік пульпи представлений сферичними частками твердого однакового розміру d_c . Допустимо, що в контрольованому просторі частки твердого розташовуються у вигляді однакових прошарків розміром $B \times h \times d_c$. Тоді одночасно у контрольованому просторі буде $b = a/d_c$ однакових шарів матеріалу площею $B \times h$. Середнє значення часток твердого у одному прошарку дорівнює математичному сподіванню n , а їх число у будь-який момент часу є величиною випадковою. В процесі руху пульпи перший прошарок з контрольованого простору виходить, а наступний входить. Загальна кількість часток твердого в контрольованому просторі буде змінюватися на їх різницю у розглянутих прошарках. Кількість часток твердого в часі буде являти собою випадковий процес $\xi(t)$. Випадковий процес можливо розглядати і в зміні об'єму твердого в контрольованому просторі при будь-якому його розташуванні.

Важливою характеристикою випадкового процесу $\xi(t)$ є зв'язок між його значеннями у окремих перерізах, який визначає кореляційна функція. Математичним моделюванням [12] і експериментальною перевіркою встановлено, що кореляційна функція випадкового процесу $\xi(t)$ достатньо швидко затухає і має затухаючу коливальну складову, що дозволяє апроксимувати її відповідними математичними виразами, наприклад, залежністю [13]

$$K(\tau) = \sigma_{\xi}^2 e^{-\alpha^2 \tau^2} \cos \beta \tau, \quad (1)$$

де α, β – параметри, що характеризують кореляційну функцію, $1/c$; τ – часовий інтервал між двома перерізами випадкового процесу, с.

При дослідженні випадкових процесів $\xi(t)$ встановлено зв'язок між параметрами кореляційної функції α і β та швидкістю v переміщення потоку пульпи. Якщо матеріал достатньо

в'язкий подібно розвантаженню кульового млина чи піскам односпірального класифікатора, середня швидкість v , потоку, яка визначається порогом чутливості вимірювального пристрою, дорівнює нулю. Тоді знайдені залежності мають наступний вигляд

$$v = k_1 \alpha, \quad (2)$$

$$v = k_2 \beta, \quad (3)$$

де k_1, k_2 – коефіцієнти, що залежать від конструкції вимірювального пристрою.

З урахуванням (2) і (3) залежність (1) прийме вигляд

$$K(\tau) = \sigma_{\xi}^2 \exp \left[- \left(\frac{v}{k_1} \right)^2 \tau^2 \right] \cos \frac{v}{k_2} \tau. \quad (4)$$

Враховуючи, що дисперсія похідної випадкового процесу дорівнює другій похідній, взятій з оберненим знаком від автокореляційної функції випадкового процесу за часовим інтервалом τ при $\tau=0$, то з виразу (4), який диференціюється будь-яку кількість разів, можливо отримати рівняння для середнього квадратичного відхилення похідної $\dot{\xi}(t)$ випадкового процесу $\xi(t)$, що характеризує її амплітуду [13]

$$\sigma_{\dot{\xi}} = - \left. \frac{d^2 K(\tau)}{d\tau^2} \right|_{\tau=0} = \frac{v}{k_1 k_2} \sqrt{\frac{n}{2} (2k_2^2 + k_1^2)}. \quad (5)$$

Дане рівняння описує середнє квадратичне відхилення (амплітуду) похідної $\dot{\xi}(t)$ випадкового процесу $\xi(t)$, виражене в частках крупності однакового розміру. Математичне сподівання кількості часток твердого в прошарку товщиною наближено d_u і об'ємом ΔV можливо виразити залежністю

$$n = V_{IT} / V_u = 6V_{IT} / \pi d_u^3, \quad (6)$$

де V_{IT} – математичне сподівання об'єму твердого в прошарку об'ємом ΔV ; V_u – об'єм сферичної частки твердого; d_u – діаметр частки твердого.

Рівняння (5) відповідає контрольованому простору товщиною, що наближено дорівнює d_u . Оскільки такий контрольований простір реально створити не можливо, будемо рахувати, що в ньому знаходиться b прошарків об'ємом ΔV . При цьому в залежності (5) під радикалом необхідно поставити не n , а bn . Тоді при переході до об'єму сферичних часток твердого під радикалом буде $3bV_{IT} / \pi d_u^3 = 3V_T / \pi d_u^3$, якщо покласти $bV_{IT} = V_T$. З урахуванням цього рівняння (5) прийме вигляд

$$\sigma_{\dot{\xi}} = \frac{v}{k_1 k_2} \sqrt{\frac{3V_T}{\pi d_u^3} (2k_2^2 + k_1^2)}, \quad (7)$$

де V_T – математичне сподівання об'єму твердого в контрольованому просторі з b прошарками товщиною d_u .

Вираз (7) характеризує амплітуду випадкового процесу $\dot{\xi}(t)$, яка виражена через кількість часток твердого однакового розміру і залежить від математичного сподівання вмісту твердого в контрольованому просторі, розміру часток твердого та швидкості руху потоку.

Враховуючи, що кількість часток руди в контрольованому просторі визначати не можливо, перейдемо до об'єму, який можливо зафіксувати в таких середовищах. Для цього помножимо ліву і праву частини рівняння (7) на об'єм частки твердого $V_u = \pi d_u^3 / 6$. В результаті у лівій частині (7) отримаємо першу похідну швидкості зміни об'єму твердого в часі, а праворуч – вираз для її визначення

$$\frac{dV_T}{dt} = \frac{v}{k_1 k_2} \sqrt{\frac{\pi d_u^3 V_T}{12} (2k_2^2 + k_1^2)}. \quad (8)$$

З залежності (8) слідує, що на dV_T/dt найбільший вплив здійснює зміна розміру часток руди, потім швидкість руху потоку, дещо менший – зміна густини вимірюваного середовища через об'єм твердого V_T .

Дослідимо залежність (8) більш докладніше. Промодельємо процес швидкості зміни об'єму твердого в часі в контрольованому просторі розміром $5 \times 20 \times 60$ мм при проходженні через нього вимірюваного середовища з $V_T = 444 \cdot 10^{-8}$ м³; $k_1 = 2,91$ м; $k_2 = 0,98$ м, різними фіксованими значеннями швидкості та зміною розміру часток твердого в діапазоні від 1 до 3 мм. Ре-

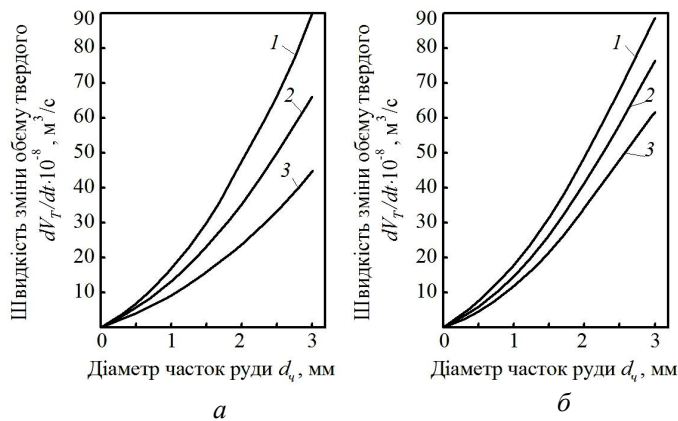


Рис.1. Залежність швидкості зміни об'єму твердого в контрольованому просторі середовища від діаметра часток руди при різних швидкостях (а) і об'ємах твердого (б):
 а – при 1 – $v=0,44$ м/с; 2 – $v=0,33$ м/с; 3 – $v=0,22$ м/с;
 б – при 1 – $V_T=444 \cdot 10^{-8}$, м³; 2 – $V_T=333 \cdot 10^{-8}$, м³; 3 – $V_T=222 \cdot 10^{-8}$, м³

залежностей, однак в конкретній технологічній точці діапазон зміни крупності подрібненої руди буде меншим і зміна dV_T/dt від d_q буде практично лінійною. Чутливість приймає найбільші значення при максимальній швидкості переміщення матеріалу. При менших швидкостях переміщення потоку вона залишається достатньо високою. Характер залежностей dV_T/dt від діаметра твердого зберігається незмінним і при відхиленнях концентрації твердого в контрольованому просторі (рис.1б), однак концентрація твердого на результат вимірювання впливає значно менше порівняно зі швидкістю потоку. Не дивлячись на це, похибка вимірювання може досягати $\pm 17,5\%$ при зміні концентрації твердого в контрольованому просторі на $\pm 33\%$. Похибка вимірювання при зміні швидкості руху пульпи на 33% складає практично таку ж величину. Тому при вимірюванні крупності руди слід забезпечувати заходи щодо стабілізації швидкості руху пульпи і концентрації в ній твердого.

Однак результати вимірювання крупності твердого в значній мірі будуть залежати і від чутливості самого процесу $\zeta(t)$, яку можливо визначити за формулою [12]

$$\delta = \frac{\sqrt{2n_1}}{n_1} 100\%, \quad (9)$$

де n_1 – математичне сподівання числа часток твердого в контрольованому просторі.

Як видно з залежності (9), чутливість процесу з ростом найбільшого числа часток руди у контрольованому просторі буде зменшуватись. Зміна чутливості при збільшенні найбільшого числа часток руди n_1 в контрольованому просторі до великих значень показана на рис.2а. З нього видно, що при $n_1 = 100$ чутливість буде самою високою. При збільшенні n_1 до 500 вона зменшується більше ніж вдвоє. Потім відбувається плавний перехід і майже лінійне зменшення показника з ростом n_1 в неробочій зоні, де вимірювання здійснити практично вже не можливо. Зміна чутливості процесу в діапазоні порівняно нешироких змін n_1 приведена на рис.2б, з якого видно, що в початковій зоні характер зміни залежності залишається таким же. Найбільш ефективно працювати в межах зміни n_1 , які доходять до 200. Однак чутливість залишається достатньою і при n_1 близько 1000...1200. Чутливість процесу не залежить від крупності часток твердого, тобто, вона буде однаковою, коли n_1 представлене дрібними чи більш крупними частками руди. Для забезпечення певної чутливості необхідно лише, щоб у контрольованому просторі розміщувалася обрана найбільша

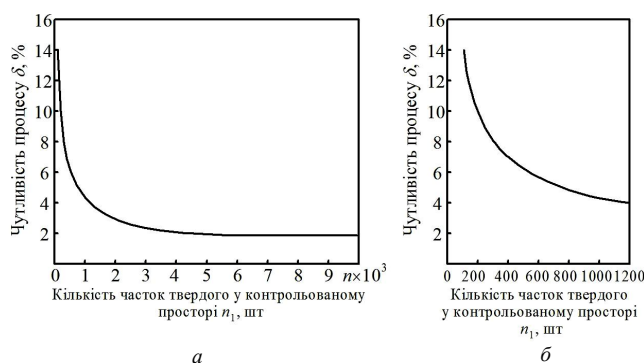


Рис.2. Залежність чутливості процесу від кількості часток твердого у контрольованому просторі при великій (а) і при алій (б) їх чисельності: а – $n_{max}=10000$ шт; б – $n_{max}=1200$ шт

кількість n_1 часток руди, що гарантує необхідну чутливість процесу.

Залежності розглянуті при незмінній крупності сферичних часток твердого, однак вони будуть справедливими і для матеріалу, представленого різними класами крупності. При цьому необхідно розглядати процеси в межах кожного класу крупності, коли результуючий випадковий процес буде представлений середньозваженим розміром твердого. Тоді замість параметра d_q необхідно розглядати у отриманих залежностях середньозважений розмір твердого.

З розглянутого видно, що для забезпечення вимірювання з достатньо високою чутливістю, необхідно визначити середньозважене значення крупності твердого в необхідній технологічній точці і для неї вибрати конкретний розмір контрольованого простору з тим, щоб у ньому розташовувалося при практично повному заповненні близько 100...200 часток твердого. Якщо ж крупність часток твердого буде збільшуватись, швидкість зміни об'єму твердого в контрольованому просторі також буде зростати.

Промодельємо даний процес при середньому значенні діаметра вимірюваних часток твердого, який дорівнює 1 мм, 2 мм і 3 мм, і можливих його технологічних відхиленнях в межах $\pm 20\%$. Результати моделювання приведені на рис.3, з якого слідує, що в межах зміни розміру часток твердого чутливість процесу змінюється практично лінійно. Крутизна залежностей дещо зменшується при збільшенні розміру часток твердого. Це підтверджує факт сприяння вимірюванню крупності часток твердого даним підходом, оскільки зміна чутливості з ростом крупності відбувається практично відповідно прямиї.

У процесі переміщення матеріального потоку через нерухомий контрольований простір в ньому разом зі зміною об'єму руди буде змінюватись і об'ємний вміст магнітних включень, а як наслідок, і його магнітна проникність. Тому такий контрольований простір можливо використати в якості магнітного опору магнітоелектричної системи з постійними магнітами і індукційною обмоткою. Електрорушійна сила (е.р.с.) магнітоелектричної системи дорівнює [15]

$$E = -wK_{\phi}Fe_m \frac{v}{k_1k_2} \sqrt{\frac{\pi d_q^3 V_T}{12} (2k_2^2 + k_1^2)}, \quad (10)$$

де w – число витків у вимірювальній обмотці; K_{ϕ} – постійний коефіцієнт, що визначається конструктивними параметрами магнітної системи; Fe_m – вміст магнітного заліза в твердому.

Як видно з (10), е.р.с. магнітоелектричної системи залежить від тих же параметрів потоку – v , d_q і V_T , однак вона є ще і функцією вмісту магнітного заліза в твердому. Промодельємо залежність E від цих параметрів. Результати моделювання подані на рис.4.



Рис.3. Залежність чутливості процесу від технологічних змін діаметра часток руди в заданій точці схеми подрібнення при оптимальному розмірі контрольованого простору, що відповідає 100 часткам твердого при різних середніх значеннях крупності:
1 – $d_q=1,0$ мм; 2 – $d_q=2,0$ мм; 3 – $d_q=3,0$ мм

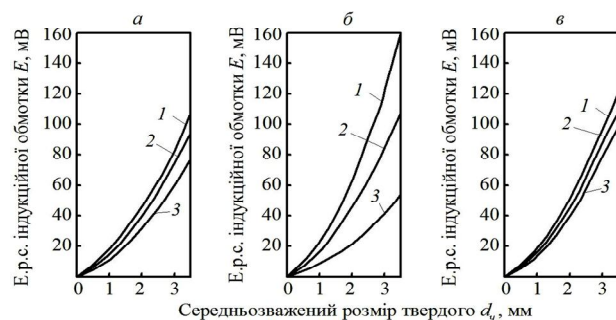


Рис.4. Залежність електрорушійної сили E індукційної обмотки від середньозваженого розміру руди при зміні вмісту твердого V_T в контрольованому просторі (а), швидкості руху потоку v (б) і вмісту магнетиту Fe_m (в):
а – 1 – $V_T=444 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$, 2 – $333 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$, 3 – $222 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$;
б – 1 – $v=0,66 \text{ м/с}$, 2 – $0,44 \text{ м/с}$, 3 – $0,22 \text{ м/с}$;
в – 1 – $Fe_m=32\%$, 2 – 24% , 3 – 16%

Як видно з рис.4, залежності електрорушійної сили E від середньозваженого розміру твердого близькі до лінійних. При зміні математичного сподівання твердого V_T в контрольованому просторі залежності зміщуються. Відхилення математичного сподівання вмісту твердого в контрольованому просторі від середнього значення на 33% породжує похибку вимірювання середньозваженої крупності до 18% (рис.4а). Зміна швидкості потоку від середнього значення на 50% викликає похибку вимірювання практично на таку ж величину (рис.4б). Коливання вмісту магнетиту в руді в межах $24\% \pm 8\%$ приводить до похибки вимірювання параметра, яка може

доходити до 26%.

Отже, при вимірюванні середньозваженої крупності руди зміни вмісту твердого (густини потоку), вмісту магнетиту в твердому та швидкості переміщення матеріалу через контрольований простір приводять до значних похибок. Розглянемо особливості вимірювання середньозваженої крупності твердого в розвантаженні кульового млина і пісках односпірального класифікатора.

Вміст магнетиту в розвантаженні кульового млина не буде постійним навіть при подрібненні певного технологічного різновиду руди, оскільки на вході технологічного агрегату в різних пропорціях зміщуються вихідний продукт і піски односпірального класифікатора, які пройшли процес розділення за крупністю і вже не відповідають вихідному стану сировини. Тому як самі піски, так і матеріал розвантаження кульового млина будуть характеризуватись коливанням вмісту магнетиту. Враховуючи сильний вплив коливань вмісту магнетиту на індуквану е.р.с. в обмотці магнітоелектричної системи, за цим параметром слід вносити корекцію. Це легко здійснити за допомогою перетворювача Холла, введеного в магнітопровід магнітної системи. Сигнал перетворювача Холла буде пропорційним вмісту магнетиту в контрольованому просторі і в цілому в потоці. Якщо встановити базове значення вмісту магнетиту в твердому, то вимірний сигнал E індукційної обмотки, що визначається крупністю матеріалу, слід змінити в залежності від відхилення поточного значення вмісту магнетиту від базового. Корекцію E найкраще здійснювати в цифровому виді.

Вміст твердого V_T в пісках односпірального класифікатора практично незмінний, що ідеально відповідає умовам вимірювання. Вміст твердого в розвантаженні кульового млина змінюється в невеликих межах, особливо в умовах подрібнення певного незмінного різновиду руди. За будь-яких умов відхилення вмісту твердого в даній технологічній точці не буде великим. Крім того, практично завжди відомим є встановлене значення розрідження пульпи на вході кульового млина, що дозволяє здійснити корекцію за математичним сподіванням вмісту твердого в розвантаженні технологічного агрегату.

Швидкість руху матеріального потоку в розвантаженні кульового млина і пісків односпірального класифікатора є змінною, що буде приводити до виникнення похибки визначення крупності часток твердого. Однак згадані технологічні агрегати мають свою особливість – незмінність обертання в часі барабана в кульовому млині і спіралі в односпіральному класифікаторі, яку доцільно використати. Для цього магнітоелектричні системи необхідно встановити на розвантажувальній горловині кульового млина і на одному з робочих елементів спіралі односпірального класифікатора.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином, запропонована математична залежність електрорушійної сили магнітоелектричної системи, яка визначає розмір часток твердого в потоці. Однак на величину е.р.с. сильно впливають коливання вмісту твердого і магнетиту в ньому, швидкості потоку, що не дозволяє використовувати її безпосередньо для вимірювання середньозваженої крупності матеріалу в розвантаженні кульового млина і пісках односпірального класифікатора. Зміну вмісту магнетиту у вимірюваних продуктах можливо легко компенсувати. Показано, що в пісках вміст твердого практично є незмінним, а в розвантаженні кульового млина він відомий і можливо ввести корекцію. Впливу зміни швидкості переміщення матеріального потоку можливо позбавитись, розмістивши магнітоелектричні системи на розвантажувальній горловині кульового млина і на одному з робочих елементів спіралі односпірального класифікатора, які обертаються з незмінною швидкістю. Отже, середньозважений розмір часток твердого у розвантаженні кульового млина і пісках односпірального класифікатора можливо вимірювати з точністю, що відповідає вимогам технологічного процесу. Запропоновану математичну залежність можливо використовувати для тарування пристроїв, що сильно спрощує дану процедуру.

Перспективою подальших досліджень є розробка засобів для вимірювання середньозваженої крупності твердого в розвантаженні кульового млина і пісках односпірального класифікатора.

Список літератури

1. Моркун В.С. Адаптивные системы оптимального управления технологическими процессами / В.С. Моркун, А.А. Цокурено, И.А. Луценко. – Кривой Рог: Минерал, 2005. – 261 с.
2. Моркун В.С. Ультразвуковые поверхностные волны Лэмба и Лява в измерительных системах / В.С. Моркун, О.В. Поркуян. – Кривой Рог: КТУ, 2006. – 261 с.
3. Купін А.І. Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології / Ку-

пін А.І. – Кривий Ріг: Видавництво КТУ, 2008. – 204с.

4. **Поркуян О.В.** Керування нелінійними динамічними об'єктами збагачувальних виробництв на основі гібридних моделей Гамерштейна: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт.техн.наук: спец. 05.13.07 «Автоматизація процесів керування» / **О.В. Поркуян.** – Кривий Ріг, 2009. – 36 с.

5. **Назаренко М.В.** Прогнозуюче адаптивне керування стохастичною системою для забезпечення раціональних техніко-економічних показників на прикладі залізрудного гірничо-збагачувального комбінату / **М.В. Назаренко.** – Кривий Ріг: Діоніс (ФОП Чернявський Д.О.). – 2010. – 309 с.

6. **Моркун Н.В.** Розподілене оптимальне керування взаємопов'язаними процесами збагачувального виробництва на основі динамічної просторово-часової моделі: дис. ... доктора техн.наук: спец. 05.13.07 «Автоматизація процесів керування» / **Моркун Наталія Володимирівна.** – Кривий Ріг, 2017. – 357 с.

7. **Линч А. Дж.** Циклы дробления и измельчения / **Линч А. Дж.:** [пер. с англ.]. – М.: Недра, 1981. – 342с.

8. **Herbst J.A.** Model-based control of mineral processing operations / **J.A. Herbst, W.T. Pate, A.E. Oblad** // Powder Technology. – 1992. – Vol.69. – P. 21-32.

9. Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых / [**Морозов В.В., Топчаев В.П., Улитенко К.Я. и др.**]. – М.: Изд. дом «Руда и Металлы», 2013. – 512 с.

10. **Азарян А.А.** Автоматизация первой стадии измельчения, классификации и магнитной сепарации – реальный путь повышения эффективности обогащения железных руд / **А.А. Азарян, Ю.Ю. Кривенко, В.Г. Кучер** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2014. – Вип.36. – С.276-280.

11. Измельчение. Энергетика и технология / [**Пивняк Г.Г., Вайсберг Л.А., Кириченко В.И. и др.**]. – М.: Изд. дом “Руда и Металлы”, 2007. – 296 с.

12. **Кондратець В.О.** Дослідження випадкового процесу навантаження опорного ролика конвеєра в умовах осередненого потоку руди / **В.О. Кондратець** // Зб. наук. праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: ДВНЗ «НГУ», 2013. – №43. – С.79-88.

13. **Свешников А.А.** Прикладные методы теории случайных функций / **Свешников А.А.** – М.: – Наука, 1968. – 464 с.

14. **Кондратець В.О.** Сферична частинка твердого певного розміру як основа процесу моделювання розпушення гірських порід / **В.О. Кондратець, А.М. Мацуї** // Математичне моделювання: науковий журнал. – 2016. №2(33). – С.55-59.

15. **Мацуї А.М.** Теоретичне і експериментальне дослідження магнітоелектричної системи, що сприймає крупність пісків односпірального класифікатора / **А.М. Мацуї, В.О. Кондратець** // Електротехніка та електроенергетика. – 2017. – №2. – С. 38-49.

Рукопис подано до редакції 24.04.2018

УДК 628.356.39:628.345.6

В.Ю. ТИЩУК, д-р техн.наук, доц., І.Б. КОВАЛЬОВА, ст. викладач

Криворізький металургійний інститут Національної металургійної академії України

Т.А. КРИВЕНКО, викладач, Гірничий коледж, Криворізький національний університет

РОЗВИТОК ОСНОВ БІОХІМІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД КОКСОХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

Мета. Метою даної роботи є розробка ефективних засобів біохімічної очистки стічних вод коксохімічних виробництв на основі використання природних органічних сполук. Очищення стічних вод коксохімічного виробництва відрізняється складністю процесу, яка полягає в наявності у воді великої кількості хімічних інгредієнтів, що важко підлягають видаленню з водного середовища.

Методи досліджень. Аналіз раніше виконаних досліджень в галузі очищення стічних вод, використано аналітичні дослідження очищення стічних вод на основі фундаментальних положень органічної та колоїдної хімії, проведено експериментальні дослідження сорбції шкідливих речовин в водяному середовищі на поверхні сорбату, в якості якого використано зелені глини. В якості шкідливої речовини прийнято оксид вуглецю, який в порівнянні з іншими забруднювачами найбільш складно піддається очищенню.

Наукова новизна. Теоретично доведено механізм взаємодії зелених глин з оксидом вуглецю, який протікає по типу фізичної сорбції і хемосорбції на поверхні дрібнодисперсних частинок зелених глин

Практична значимість. Отримано результати питомої сорбції шкідливих речовин на поверхні часток зелених глин. Встановлена пряма залежність ефективності очищення забрудненої води від концентрації зелених глин у водному середовищі.

Результати. Доведена перспектива використання природних органічних речовин – зелених глин для очищення стічних вод коксохімічних виробництв від низки шкідливих речовин. В подальшому необхідно провести широкі дослідження по видаленню з водного середовища фенолів, аміаку, смол і мастил, роданідів, ціанідів, солей неорганічних кислот, сполук сірки та інших шкідливих речовин.

Ключові слова. Коксохімічне виробництво, стічні води, очищення вод, сорбція, зелені глини.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Фізико-хімічні показники стічних вод коксохімічних підприємств свідчать про широкий діапазон шкідливих речовин в складі відпрацьованих вод. Якість стічних вод характеризується вмістом компонентів, специфічних для даного виду виробництва: кількістю і концентрацією органічних речовин, активною реакцією, наявністю біогенних елементів, властивостями присутніх інгредієнтів. На основі цих даних проводиться вибір раціональних методів очищення стічних вод підприємств.

Розглянемо склад стічних вод коксохімічних заводів. Це насамперед високий вміст органічних речовин 0,8–3 г/л (хімічні цехи – фенольні води). Стічні води також містять завислі речовини (0,3–0,5 г/л), смоли і мастила (0,3–0,5 г/л), феноли (0,4–1,8 г/л), аміак (0,2–3 г/л і більше), ціаніди і роданіди (0,1–0,4 г/л), солі неорганічних кислот [1;2].

На коксохімічних підприємствах, що є одними із найбільших забруднювачів оточуючого середовища, утворюються мільйони кубічних метрів на рік виробничих (так званих «фенольних») стічних вод. Це є наслідком специфіки коксохімічного виробництва, пов'язаної з термічною деструкцією кам'яного вугілля при отриманні коксу.

В зв'язку з цим виділяється вода, що забруднена хімічними продуктами коксування: розчинними і нерозчинними ароматичними вуглеводнями (похідними бензолу, нафталіну, антрацену); одно- і багатоатомними фенолами, аміаком та солями амонію; ціанід-, роданід- і сульфід-іонами. Високий вміст органічних речовин 0,8–3 г/л (хімічні цехи – фенольні води). Стічні води також містять завислі речовини (0,3–0,5 г/л), смоли і мастила (0,3–0,5 г/л), феноли (0,4–1,8 г/л), аміак (0,2–3 г/л і більше), ціаніди і роданіди (0,1–0,4 г/л), солі неорганічних кислот.

При виробництві коксу кількість стічних вод, що становить 0,4 - 0,6 м³/т коксу, яка піддається фізико-хімічним, механічним та біологічним методам очищення [2].

Очищені стічні води коксохімічних заводів використовують в основному для гасіння коксу, тому значна кількість шкідливих речовин, що залишилися у воді, при взаємодії з розпеченим коксом випаровується і потрапляє в атмосферу.

Крім того, частина шкідливих речовин, що утворюються - сірководень, ціаністий водень та сірчистий ангідрид, також додатково утворюються при взаємодії розпеченого коксу з водою. Тому навіть при незначній концентрації шкідливих речовин в стічній воді, їх вміст у парах з веж гасіння коксу перевищує гранично допустимі концентрації. Проблема повного очищення стоків від розчинених у воді органічних речовин є вельми важливою яку складно вирішити.

Стічні води коксохімічного виробництва є шкідливими і небезпечними забруднювачами водойм, а також атмосфери за рахунок випаровування та дифузії вказаних речовин з забруднених рідин в повітря робочих зон та в атмосферне повітря прилеглих територій.

Тому проблема очищення стічних вод коксохімічного виробництва є важливою і актуальною.

Аналіз досліджень і публікацій. На теперішній час існують способи використання глинистих матеріалів у якості адсорбентів у процесах очистки промислових стічних вод з кожним роком стає все більш розповсюдженим [3]. Серед інших матеріалів, призначених для цієї мети, перевагу надають природному глиняному бентоніту. Існує два найпоширеніші різновиди бентоніту – високогіроскопічний натрієвий і низькогіроскопічний кальцієвий [4]. Суть очистки води бентонітом полягає в адсорбції забруднень розвинутою поверхнею останнього, котру можна додатково активувати обробкою спеціальними речовинами. Проте, це призводить до значного підвищення вартості очистки [4]. Відомі з зарубіжних джерел приклади застосування бентоніту для очистки води від різноманітних органічних речовин - масел, нафтопродуктів, мастил і т. п., що свідчать про його надвисоку очисну здатність в поєднанні з екологічною безпечністю [5]. При цьому в кожному випадку утворюється бентонітовий осад, насичений смолами, який в залежності від їх вмісту осідає чи спливає з рідини.

В зв'язку з цим визначення шляхів очищення окремо кожної забруднюючої речовини у скидах фенольних вод є актуальною науковою і технічною задачею, яка пов'язана з виконанням програм по покращенню стану атмосферного повітря, підвищенню якості життя населення, а також безпеки, гігієни праці і виробничого середовища у коксохімічному виробництві.

Постановка завдання.

1. Аналітично і експериментально визначити тип і склад забруднюючих речовин, що виділяються при технологічних процесах коксохімічного виробництва.

2. Встановити фізико-хімічний механізм нейтралізуючої дії зелених глин як засобів очищення стічних вод коксохімічних виробництв та експериментально і аналітично визначити їх ефективність.

3. Виконати дослідження з вибору біологічно-активної мікрофлори для видалення шкідливих речовин із стічних вод коксохімічного виробництва.

Викладення матеріалу та результати. Вирішення проблеми очищення стічних вод дозволить покращити санітарно-гігієнічні умови праці та захистити атмосферне повітря на прилеглих територіях.

За звичай вона вирішується комплексом фізико-хімічних, механічних і біохімічних способів, які використовуються для очищення локальних стоків і загального фенольного стоку на біохімічних установках. Вибір способів і ефективність очищення визначається тим, як використовуються очищені стічні води. На більшості діючих коксохімічних підприємств очищені стічні води використовуються для гасіння коксу. Обсяги утворення стічних вод становлять 0,4-0,5 м³ на 1 т коксу. Тому на підприємствах з мокрим гасінням коксу реалізується безсточність виробництва.

Наявність поверхнево-активних речовин робить коксохімічний стік стійкою емульсійною системою. Найбільш ефективним методом знешкодження такого стоку є біохімічна обробка.

Стічні води перед гасінням коксу повинні бути очищені від летючих шкідливих речовин і не містити ті сполуки, які при контакті з розпеченим коксом можуть розкладатися з виділенням шкідливих летючих компонентів. Високі вимоги по захисту повітряного басейну від забруднень, відповідно, підвищують і вимоги до якості очищення стічних вод, так як процес мокрого гасіння коксу вносить певний вклад у забруднення атмосфери при використанні для гасіння коксу навіть технічну воду. На ряді підприємств, де здійснюється сухе гасіння коксу, очищені фенольні води підлягають біологічному доочищенню в системах очисних споруд.

Велика різноманітність домішок стічних вод зумовлює необхідність застосування різних методів виділення або знешкодження домішок. Частина методів входить як складова частина в основну технологію уловлювання та переробки хімічних продуктів коксування і призначена для виділення у вигляді товарних продуктів ряду речовин з технологічних вод і поліпшення якості окремих складових загального стоку.

Проблема очищення технологічних і стічних вод від смолистих речовин, масел є спільною для багатьох галузей промисловості. Методи очищення при цьому - це відстоювання, флотажія, сорбція, фільтрація, екстракція, та ін. Вибір методу залежить не тільки від вимог, що пред'являються до якості води, але й від природи смол і масел.

Очищення від смолистих речовин, що мають щільність більше одиниці, здійснюється, в основному, методом відстою, рідше - методом адсорбції на кварцовому піску або коксі. Масла у стічних водах коксохімічного виробництва в основному представлені компонентами поглинювального масла (конденсованими двоядерними ароматичними вуглеводнями з температурою кипіння від 200 до 300° С) і антраценового масла (полициклічними, в основному трьохкольчатими, конденсованими вуглеводнями з температурою кипіння вище 300° С).

Біохімічні (біологічні) методи застосовують для очищення промислових стічних вод від багатьох розчинених органічних і деяких неорганічних (сірководень, сульфід, аміак, нітрити) речовин. Процес очищення заснований на здатності мікроорганізмів використовувати ці речовини для живлення в процесі життєдіяльності, оскільки органічні речовини для мікроорганізмів є джерелом вуглецю.

Контактуючи з органічними речовинами, мікроорганізми частково руйнують їх, перетво-

рюючи в воду діоксид вуглецю, нітрит і сульфат-іони та ін. Інша частина речовини йде на утворення біомаси. Руйнування органічних речовин називають біохімічним окисненням.

Біохімічне окиснення здійснюється співтовариством мікроорганізмів (біоценозом), що включають безліч різноманітних бактерій, найпростіших і ряд більш високоорганізованих організмів-водоростей, грибів і т. д., зв'язаних між собою в єдиний комплекс складними взаємовідносинами (метабіоз, симбіоз і антагонізм).

Чільна роль у цьому співтоваристві належить бактеріям, число яких варіює від 10^6 до 10^{14} клітин на 1 г сухої біологічної маси (біомаси). Число родів бактерій може досягати 5-10, число видів - декількох десятків і навіть сотень. Співтовариство мікроорганізмів представлено одними бактеріями в тому випадку, якщо очистку проводять в анаеробних умовах (відсутність розчиненого у воді кисню). У виробничих стічних водах зустрічається до 30 видів *Bacterium*. Ці бактерії засвоюють нафту, парафіни, нафтени, феноли та інші сполуки.

Серед бактерій в очисних спорудах співіснують гетеротрофи і автотрофи, причому переважне розвиток та чи інша група отримує в залежності від умов роботи системи. Ці дві групи бактерій розрізняються по своєму відношенню до джерела вуглецевого живлення. Гетеротрофи використовують в якості джерела вуглецю готові органічні речовини і переробляють їх для отримання енергії і біосинтезу клітини. Автотрофні організми споживають для синтезу клітини неорганічний вуглець, а отримують енергію за рахунок фотосинтезу, використовуючи енергію світла, або хемосинтезу шляхом окислення деяких неорганічних сполук (наприклад, аміаку, нітритів, солей двовалентного заліза, сірководню, елементарної сірки та ін).

Мікроорганізми здатні окиснювати багато органічних речовин, але для цього потрібен різний час адаптації. Легко окиснюються бензойна кислота, етиловий і аміловий спирти, гліколі, хлоргідриди, ацетон, гліцерин, анілін, складні ефіри.

Проте, процес біологічного очищення стічних вод дозволяє руйнувати тільки відносно прості органічні і амонійні сполук. Неорганічні сполуки, токсини, комплексні сполуки і складні органічні сполуки (які також можуть бути токсичними) зв'язуються з біомасою, частково руйнуються, але ступінь очищення від них набагато нижче. Наприклад, використання очищення за допомогою активного мулу не гарантує видалення іонів важких металів (кадмій, хром, нікель, свинець, ртуть).

Процес очищення стічних вод може здійснюватися за допомогою звичайних очисних споруджень (аеротенк, біофільтр), штучно іммобілізованої біомаси за допомогою іммобілізованих ферментів. Успіхи у створенні і використанні нових видів біомаси і ферментів допоможуть вирішити багато складних проблем.

Речовини, що знаходяться в стічних водах в колоїдному або дрібнодисперсному стані, окиснюються з меншою швидкістю, ніж речовини, розчинені у воді.

Для нормального процесу синтезу клітинного речовини, а отже, і для ефективного процесу очищення стічної води в середовищі повинна бути достатня концентрація всіх основних елементів живлення - органічного вуглецю, азоту, фосфору. Крім основних елементів складу клітки (C, N, O, H) для її побудови необхідні в незначній кількості і інші компоненти.

В якості сорбентів забруднюючих речовин, що присутні в стічних водах нами прийнято зелені глини. Склад зелених глин включає наступні інгредієнти, %: SiO_2 - 44,0-68,0; Al_2O_3 - 5,0-28,8; Fe_2O_3 - 1-15; FeO - 0,15-1,34; CaO - 0,8-9,19; MgO - 0,9-4,2; $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ - 0,8-5,62; волога - 6-22,83. Крім того в складі зелених глин знаходяться гумінові комплекси, які можуть поглинати шкідливі гази.

В якості шкідливої речовини прийнято оксид вуглецю, який в порівнянні з іншими забруднювачами найбільш складно піддається очищенню.

Фізико-хімічні передумови нейтралізації монооксиду вуглецю зеленими глинами полягають в наступному. Молекула оксиду вуглецю, незважаючи на невеликий дипольний момент, має яскраво виражений полярний характер. За рахунок полярності зв'язку $\text{C} = \text{O}^+$ виникає взаємодія молекули оксиду вуглецю з іонами і полярними групами гуматів натрію (калію), що знаходяться в розчині, такими, як іони натрію (калію), гідроксильні, карбоксильні, фенольні, карбонільні групи, наявність яких в складі гумінових кислот доведено. Ця взаємодія має електрос-

татичний характер і по силі своїй наближається до величини ковалентного зв'язку.

Тому при проходженні CO через водну суспензію може відбуватися його поглинання. Таким чином здійснюється нейтралізація CO зеленими глинами. Непрямим підтвердженням можливості нейтралізації монооксиду вуглецю цими суспензіями є той факт, що гумусові речовини, що містяться в ґрунті, поглинають гази, в тому числі і CO, більш енергійно в порівнянні з іншими ґрунтовими частками. При цьому основним елементом гумусу є гумінові кислоти, які входять до складу зелених глин.

Технологічна доцільність використання водяних розчинів зелених глин обумовлена їх фізико-хімічними характеристиками. У мікроскопічному вимірі глини представлені об'єднанням часток з розмірами меншими 2 мм, що заряджені переважно негативно. Проте, за результатами досліджень інших авторів на поверхні цих часток можуть співіснувати як негативні так і позитивні заряди.

За даними зарубіжних авторів негативні заряди розташовані переважно на поверхні глинистих часток, а позитивні на їх ребрах. Таким чином глини можуть виконувати роль як катіонообмінників так і аніонообмінників і вони є каталізаторами

Одним із напрямків аналітичних досліджень це визначення процесу керування процесами газоуловлювання та пилоподавлення з використанням каталізаторів тобто зелених глин, та їх складових для зміщення рівноваги в парогазовій фазі, яка сприяє вилученню шкідливих речовин шляхом утворення з них менш шкідливих та їх сорбції на поверхні диспергованих сорбентів.

Теоретичною основою нейтралізації шкідливих газів водними суспензіями зелених глин є хімічна кінетика і каталіз.

У промисловості каталізатори це багатокомпонентні системи. У складі каталізаторів, в даному випадку глин, можуть входити промотори (активатори), що є добавками до каталізатора у вигляді невеликої кількості речовин, які самі можуть бути каталітично неактивними по відношенню до певної реакції, але дуже підвищують активність власне каталізатора.

Добавка до каталізаторів невеликої кількості промотора, підвищує їх активність за рахунок збільшення поверхні, вибіркості і терміну дії.

Промотором (активатором) називають добавку до каталізатора невеликої кількості речовини, яка сам по собі може бути каталітично неактивною по відношенню до певної реакції, але дуже підвищує активність власне каталізатора. Ефективність дії промоторів залежить від їх кількості. При певному співвідношенні активного компонента і промотора спостерігається максимум активності. В складі зелених глин промоторами можуть виступати оксиди заліза та алюмінію і платина.

Зміщення рівноваги під дією каталізатора це термодинамічний процес. Термодинамічний процес являє собою сукупність послідовних станів, через які проходить термодинамічна система при взаємодії її з навколишнім середовищем. При цьому усі ці частини параметрів зазнають змін. Ці зміни параметрів відбуваються таким чином, щоб система була спрямована до стану рівноваги. Розглядаючи склад зелених глин можна відмітити наявність промоторів. Це є суттєвим фізико-хімічним фактором, який свідчить, що зелені глини можуть бути нейтралізатором монооксиду вуглецю, за рахунок його поглинання, та поглинати інші забруднюючі речовини у стічних водах.

Дослідження здатності зелених глин сорбувати гази проводились на спеціальному стенді, який включав колбу з водним розчином глин, об'ємом 1 дм³; камеру, наповнену газом, що досліджується; пусту камеру для прийому газу після нейтралізації; електричний аспіратор з витратоміром і систему з'єднувальних трубок. За допомогою електричного аспірата відбувалося перекачування монооксиду вуглецю з камери через досліджуваний розчин в пусту камеру. Швидкість пропускання газу складала 0,2 дм³/хв., об'єм пропущеного газу – 2 дм³, час пропускання – 10 хвилин.

Після пропускання порції газу через розчин замірялась залишкова концентрація монооксиду вуглецю. За різницею концентрацій газу до і після перепускання через розчин визначалась кількість газу, яка була адсорбована водним розчином зеленої глини. Потім через розчин про-

пускалася нова порція газу, об'ємом 2 дм³, і знову визначалась кількість СО, що була сорбована зеленими глинами. В ході досліджень фіксувався момент досягнення межі адсорбції СО на глинах, який характеризувався тим, що поглинання газу суспензією більше не відбувалося, і його концентрація в суміші до і після перепускання через розчин глин не змінювалась. Концентрація монооксиду вуглецю визначалась за допомогою газоаналізатора. Концентрація зелених глин у водяній суспензії становила 5;6;7;8;9;10 мас.%. Розрахунки показали, що питома сорбція монооксиду вуглецю становить 10-12 мг на 1 г зеленої глини.

Газоуловлюючі властивості водяних розчинів зелених глин доведено результатами досліджень, які свідчать, що гранична сорбція оксиду вуглецю на глиняних комплексах досягає 10-12 мг на 1 г глин. Оптимальні концентрації зелених глин за критерієм технічної та економічної доцільності становлять 5–10 мас. %. Ізотерми адсорбції оксиду вуглецю на глиняних комплексах, мають максимум, що свідчить про можливість їх обробки з використанням рівняння ізотерми адсорбції Ленгмюра. Результати досліджень кінетичних процесів сорбції СО в часі (*t*) на складових зелених глин підтвердили їх здатність очищати вказаний газ, якщо він знаходиться у водяному середовищі. При цьому швидкість сорбції пропорційна відношенню площі поверхні сорбенту та його об'єму. Отже, процес сорбції має гомогенно-гетерофазний характер. Для поглиблення вивчення механізму нейтралізації оксиду вуглецю суспензіями зелених глин проведено оцінювання інтегрального теплового ефекту процесу сорбції газу на компонентах глин. У результаті визначено інтегральну теплоту сорбції монооксиду вуглецю на частинках зелених глин, яка складає $\Delta H = -210$ кДж/моль. Це свідчить, що реакція може відбуватися по типу хемосорбції, тобто має місце хімічна взаємодія між молекулами газу і складовими зелених глин, що забезпечить неможливість в подальшому проходження процесу десорбції газів з поверхні глиняних частинок.

Також було виконано дослідження газовловлювальної здатності водяних суспензій мікрободоростевих штамів на прикладі оксиду вуглецю. Це напрямок очищення шкідливих речовин в стічних водах за принципами біотехнології.

Результати досліджень показали, що питома поглинання СО, мікрободоростевим штамом *Spirulina* становить не менше 7 мг на 1 г біомаси, а для композиції суспензій *Spirulina* і бактерії *Pseudomonas* – 17 мг/г. Одержані результати є вихідними даними для визначення витрат суспензій мікрободоростей для нейтралізації газу при відомій його кількості.

Висновки та напрямок подальших досліджень. На коксохімічних підприємствах утворюються мільйони кубічних метрів на рік виробничих (так званих «фенольних») стічних вод. Це є наслідком специфіки коксохімічного виробництва, пов'язаної з термічною деструкцією кам'яного вугілля при отриманні коксу.

В роботі доведена перспектива використання зелених глин та мікрободоростевих штамів для очищення стічних вод. Дослідження очищення вод проводилися на прикладі оксиду вуглецю, який найбільш складно піддається нейтралізації та очищенню. Встановлено питомі значення сорбції оксиду вуглецю на частинках зелених глин та на мікрободоростевих штаммах.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на очищення стічних вод від інших забруднюючих речовин, що присутні в стічних водах коксохімічних виробництв.

Список літератури

1. **Клименко І.В.** Розробка ефективної технології очистки фенольних стічних вод/ **І.В. Клименко, Д. О. Єлатонцев, А.В.Іванченко** та ін. - Восточно-Европейский журнал передовых технологий 3/10 (81) 2016. С.50-57.
2. **Іванченко, А. В.** Дослідження технології вилучення смолистих речовин зі стічних вод коксохімічних підприємств методом реагентної флоатації / **А. В. Іванченко, Д. О. Єлатонцев, М. Д. Волошин, О. О. Дупенко** / Праці Одеського політехнічного університету. – 2015. – № 1 (45). – С. 158–163.
3. Syafalni Wastewater treatment using bentonite, the combinations of bentonite–zeolite, bentonite–alum, and bentonite–limestone as adsorbent and coagulant [Text] / Syafalni, R. Abdullah, I. Abustan, A. N. M. Ibrahim // International journal of environmental sciences. – 2013. – Vol. 4, Issue 3. – P. 379–391.
4. **Sulaymon, A. H.** Removal of oil from wastewater by organoclay prepared from Iraqi bentonite [Text] / **А. Н. Sulaymon, J. M. Kshash** // Journal of Engineering. – 2010. – Vol. 16, Issue 4. – P. 5778–5798.
5. **Антипова В.В.** Очищення фенольних стічних вод від коксохімічного виробництва за кордоном/**В.В.Антипова**// Чорна металургія:Бюл. ін-ту Черметінформація.- М.: 1979, Вип.8, С.3-23.

Рукопис подано до редакції 18.04.2018

V.I. GOLIK, DSc, Prof., VSC RAS and North-Caucasian Mining and Metallurgical Institute
V.Kh. DZAPAROV, PhD, Assoc. Prof., G.Z. KHAREBOV, PhD, Assoc. Prof., North-Caucasian
Technological University

V. S. MORKUN, DSc, Prof., N. V. MORKUN, DSc, Assoc. Prof., V. V. TRON, PhD, Assoc. Prof.,
Kryvyi Rih National University

INFORMATION TECHNOLOGIES IN DESIGNING MINING OBJECTS

The research is aimed at improving forms and methods of information support of technological measures for efficient mining and complex usage of mineral resources at mining enterprises' functioning stages.

Methods. The issue of information support is studied by analyzing literature sources concerning the advanced experience data, results of studying the ore-bearing massif, parameters of deposit mining, technological properties of ores, evaluating the massif state by complex methods using models and statistics data.

Scientific novelty. There are developed basic principles of designing mining processes based on concepts of simulation databases, expert and geoinformation systems in ore mining and initial processing by applying new technologies of production processes at the processing stage.

Practical significance. Application of established system connections and regularities allows formalizing principles of interaction between a designing body, users and exploitation objects on the basis of analysis and synthesis of the system of controlling a design error risk and working out a model of managing mining production aimed at increasing mining efficiency and safety by correcting impacts at all stages of an object's existence.

Results. The research provides evaluation of the information support state of a modern mining production focused on solid mineral mining by conventional and up-to-date technologies. There are formulated basic aspects of information support improvement. The authors suggest schemes of multi-variant automated designing with step-by-step optimization of particular solutions of automated designing which implies mineral deposit development, project evaluation as to its conformity with environment-saving demands, continuous monitoring of processes accompanied by controlling solutions at deposit mining stages. There are recommended methods of investigating new processes of metal extraction from substandard raw materials.

Keywords: information support, mineral resources, mining enterprise, analysis, technology, ore, designing, imitation simulation

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-208-216

Introduction. Under conditions of the system economic crisis increasingly affecting the mining industry, the problem of rational usage of mined mineral resources is becoming urgent.

The latest achievements and publications concerning basic principles of solving the problem indicate that mining objects' efficient designing is impossible without reliable information support as decision-making calls for formation of a diverse data bank and is hindered by underdeveloped methods of data formalization. That is why, the majority of mining enterprises apply computer information systems based on concepts of databases, simulation modelling, expert and geoinformation systems [1-2].

In mining, to a greater degree than in other industries, the necessity of applying geoinformation technologies is explained by minimal consumption of material and labour resources, complete and complex usage of mined resources, protection of general natural resources and the increased risk of mining operations.

Information technologies forecast development dynamics and optimize industrial processes including:

- mining the quantity of ores necessary for meeting the demands of metallurgy;
- ensuring competitive economic indices in conditions of market formation;
- providing safe and comfortable conditions for people and environmental ecosystems.

A mining enterprise is a sum of capital, prospecting, preliminary and stoping mine workings, means and mechanisms of transport, hoisting, ventilation, mine pumping, ore concentration, storage, etc. Connection and interrelation of the system elements are controlled by technical and economic indices of its functioning. The search and order of management processes are organized sequentially, sequentially and simultaneously and by the cyclical iteration method using automation means.

A mining enterprise's goal achievement is hindered by natural and technological factors among which the major role is played by natural ones including the substantial variety of ore deposits' parameters. The designing process means optimization of enterprise management, parameters and technologies of development and stoping mining processes.

The level of a mining enterprise's information support is high enough, yet, little attention is paid to issues of operational and immediate correction of certain aspects of a general problem, especially

loosing by means of blasting and leaching metals from substandard raw materials [3-4].

Thus, the current research is aimed at improving forms and methods of information support of technological measures for efficient mining and complex usage of mined mineral resources at mining enterprises' functioning stages.

Materials and methods. Analyses of the information support issue are performed on the basis of literature sources concerning the advanced experience data, results of studying the ore-bearing massif, parameters of deposit mining, technological properties of ores, evaluating the massif state by complex methods using models and statistics data.

Russia's mineral base development is aimed at meeting increasing demands and enhancing competitiveness of domestic mining enterprises.

Accelerated obsolescence of the major production stock (the renewal coefficient does not exceed 2% with the minimum level of 4-5%), the constant growth of prices for dominant industries' products and services and the abrupt shortage of investments are the basic aspects of mining enterprises' competitiveness.

The Russian ore material base of the metallurgical industry is notable for complicated mining and geological conditions of deposit mining and a lower content of a number of metals in the natural raw materials compared to other countries that form prices for metallurgical materials.

These tasks can be solved by applying information technologies potential.

Designing of an underground mine as an optimal system of many variables implies a sum of optimization tasks for solving general and particular problems. Solution synthesis is a responsible operation and it is not always possible on the basis of a step-by-step and gradual approach to the required optimum.

In using information technologies means within the CAD (computer assisted design) system for solving a design task, a mathematical model characterizing an object under study and providing necessary and sufficient data is developed. Modelling means describing regularities of a certain mining object by means of mathematical expressions or models: correlation, net, game-based, programming ones and others.

A system of mining objects' designing is characterized by:

- its single character due to correlations between separate links of a technological net;
- compatibility of subsystem parameters within the data bank;
- hierarchy of solutions within subsystems.

A complicated character of designing mining objects is conditioned by ambiguity of initial data, a multilink structure of management, a dynamic and discrete character of some mining processes in space-time and a diversity of possible solutions.

In the mining industry, computer-assisted designing with step-by-step optimization of particular solutions is a priority (Fig.1).

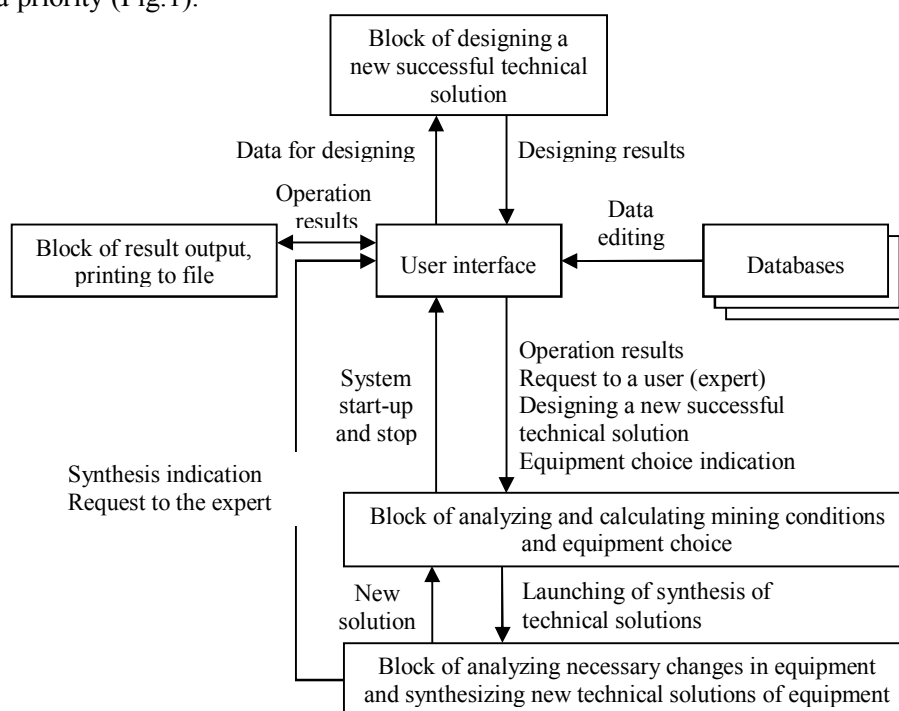


Fig. 1. Scheme of making designing solution

An underground mine's flow sheet is a sum of mine workings and mechanisms for loose ore dislodging, ore haulage to mucking areas, underground transport, hoisting and surface transport [5-6].

Each element of the control system is connected to the centre and the designed site by measurement and control automated means. Mining processes are accumulated, systematized, processed and displayed on the monitor.

A designed site is equipped with the means for modelling different variants according to various criteria that enables finding an optimization model with respect to its optimality in the shortest time impossible with other designing methods.

Graphic devices allow fixing and interpreting the CAD results in a form of projects. The main objective of the CAD is to work out a system controlling the massif geomechanics in underground mining (Fig.2).

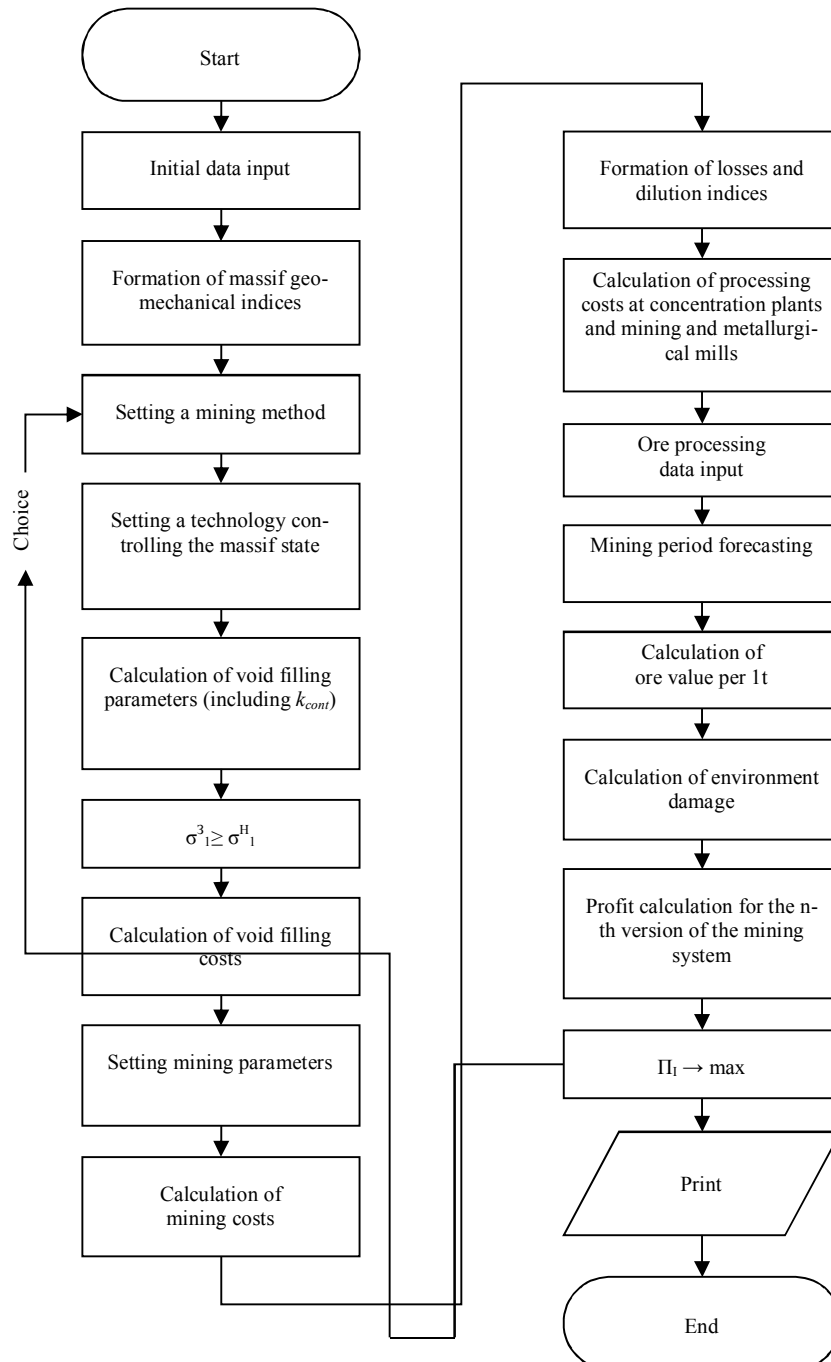


Fig. 2. Flow sheet of automated control of the massif state in underground mining

Designing is based on an enterprise's data bank which includes natural, technological and economic aspects.

The research methods for investigating a natural ore-bearing massif are based on the laws of kinematical and dynamic similarity of the processes occurring in rock massifs and in a laboratory [7-10]. In rock scanning, ultrasonic seismoscopes are used when an elastic wave passing through the massif is transformed into an electric pulse and directed to the electron oscilloscope. In scanning rocks, their physical and mechanical properties are investigated under the action of powerful microwave fields.

The de-stressing method applies the phenomenon of rock restitution after the connection with the massif is disrupted. The massif stressed state is evaluated by elastic deformation values during its de-stressing by the methods of elastic restitution of a blasthole face in core drilling and changes in the central hole diameter in a drilled core.

The acoustic method is based on the capacity of rocks to generate elastic sound pulses in changing the stressed state. The intensity criterion is the number of occurring sound pulses per unit time.

The ultrasonic method is based on measuring the velocity of elastic waves in the rock massif. With the increase of stresses, the velocity of elastic waves rises. When the massif is destroyed, it falls.

The electrometric method is based on the dependency between the electric conductivity of rocks and stresses. It works in highly porous rocks as it determines the conductivity of pore waters in rocks.

The seismoacoustic method applies the scheme in which excitation of elastic waves in rocks is generated by impacts. A piezo sensor gives a pulse to an activation former. Electric seismic detectors receive elastic oscillations passing through the massif and the signal goes to electronic commutators that provide the switch of the amplifier cascade outputs to the oscilloscope input. Amplification of elastic oscillations due to microcircuits and an amplified oscilloscope block prevents the useful signal distortion.

The rock density in the massif is determined by the method based on varied absorption and dispersion rate of gamma-radiation in media of various density.

Satellite geodesic methods applying GPS-receivers (e.g. "Trimble" and "Sokkia") provide data on surface deformations from one or two meters to dozens of kilometers.

In investigating geodynamic processes, there are applied coordinates of station points and control networks and the values of the Earth's crust deformations not only in the nearest area of the technogenic impact (rock displacement trough), but also in the farthest area affected by mine workings.

The stressed state is assessed by comparing the destruction sound pulses occurring in the massif per unit time with the basic value. A deformscope measures the sonic pulse frequency by a geophone and sound-ranging equipment. The method allows acquiring data on the massif state accompanied by automated signal fixation.

The controlling device alternately puts into operation transducers of sonic pulses of eclectic signals and, via the remote switching blocks of the transducers, passes them to the amplifier and next to the recording device.

Under the automated mode, the time of switching on the power supply is determined and when it comes the clockwork switches on the power supply automatically. The controlling device inquires the sonic transducers in consecutive order for five minutes, records the data and is switched off.

The massif state is assessed by frequency sensors by means of blastholes of various orientation with respect to rock tectonic structures and mining direction and it allows creating a profile observation line. The frequency sensors evaluate the changes of the generated pulses frequency, the deformations go to the sensitive element and are recorded.

Dependencies between the coefficient of rock attenuation in the massif and their electric resistance are assessed by the electrometric method which detects the defects distorting the rock uniformity. The specific resistance of rocks in the massif is inversely proportional to their porosity and fracturing. The seeming electric resistance of rocks depends on geological characteristics. The measured differences of current potentials and strength in feeding electrodes provide the coefficient of the massif looseness which is applied to determining the areas of support pressure around mine workings, their dynamics and evaluating the impact of fractures on mine working stability.

Solid rock inclusions are detected by the difference of elastic waves propagation velocities in media of varied density. In indicatrix plans, the areas of high velocity values with respect to an average velocity are determined. Comparing the data of two indicatrixes in one plane, high velocity areas of direct wave propagation are distinguished. Areas of high velocities of elastic wave propagation indicate solid inclusions.

Rock deformations result in interaction of the "massif-support" system depending on sizes of the

inelastic deformation areas around mine workings. The support displacement value is found by the relation of stresses in the mine working contour to the rock strength in case of simple compression.

The areas formation is controlled by measuring the displacements of deep and contour benchmarks at the gauge station. Deep benchmarks record rock displacements at the distance of 1.5m, 3m, 4.5m and 6m from the external support contour.

Technological properties are investigated by experiment.

To determine filtration non-homogeneity of rocks the following parameters are investigated:

the dependency of the elastic waves frequency on rock density;

the dependency of the elastic waves frequency on rock sizes;

the value of ore loosening.

Explosive charges are used to excite elastic oscillations. Oscilloscopes and sensors record strain waves. To record the shot break, along with the charge inside the blasthole, a sensor closed via the dc source to the oscilloscope galvanometer is installed. The sensors and the shot break indicate the time of the strain waves front moving along the massif. The front movement front and the distance from the charge to the sensor indicates the strain waves propagation velocity which is the criterion of the ore filtration capacity.

The same parameters are investigated by means of a model. The size scale of the model material is 1:50. The model consists of five sections – ventilation pipe segments. As long as the model is filled, the sections are connected. The sensors are installed every 0.3 m. Oscillations in the model are excited by an impact device. The impact pulse is synchronized with the oscilloscope switch by a time relay. The velocity oscillogram is represented graphically.

Solutions spreading is investigated on the stand bench of a pipe which is filled with ore of +5-10mm in size. The column is equipped with the bottom allowing division of the flow into several sections, each of them being characterized by some water speed and the rate of the space filling. The spreading areas are divided by cylinders located at the column base. They are welded to the perforated disc (the fake disc) and form (considering the column case) annular isolated receiving and feed chambers with the common bottom. The feed chambers have pipe nipples for draining the solution. The pipe nipple cross-section provides free water drainage. The backing of the bottom is excluded due to perforation. The solution quantity is controlled by a water tray.

The sites with complicated interaction of multiple-aged magmatic rocks, mineral associations and disturbances are designed at scales of 1:10 and 1:25. Mine workings are tested on both walls by vertical trenches. If the ore body thickness exceeds the mine working height, vertical boreholes are drilled every 5m to for contouring the ore body according to its thickness. The contoured cross-sections allow calculating the ore reserves. In opening up steep ore bodies by crosscuts and ortz, both walls are tested by two horizontal trenches located 0. m and 1.5m from their ground.

Geophysical testing provides the data for ore body contouring. In the course of mining it is specified by blasthole logging. To find tongues and separate ore bodies 10m deep blastholes are drilled every 10m in chambers. Ore reserves are calculated by the method of geological blocks by categories C1 and C2. The reserves divided into exploitation blocks by development mine workings are blocked out ores. The blocked-out ores are the reserves in which industrial block reserves consider ore losses and dilution and ore extraction becomes possible.

The mineral mined-out reserves are calculated by monthly surveying measurements of areas and volumes. At the first stage, the exploitation block is contoured by drifts and raises. The distance between blast- and boreholes is 5-20m, the depth is 3-15m. At sites of irregular mineralization the block area is drilled by blastholes at 25m x 25m or 12.5m x 12.5m grid. The second stage exploration is performed during stoping operations within blocks. It is aimed at searching for tongues, determining mineralization on mine working walls and finding separate ore bodies. The bottom and the roof of stopes are drilled around by boreholes.

Ore quality indices are investigated by ore breaking within the standard contour according to the feasibility study. Considering the established ore contour, development workings are selected and exploratory boreholes are drilled. Borehole testing allows making geological cross-sections and distinguishing contour zones and the ore breaking contour.

At sites of simple structure, a contour zone is built along the contour of the ore body, at those of complicated structure, ore ledges are united by the external border and troughs inside the body contour – by the internal border.

Wasteless utilization is investigated at concentration tailings by means of a disintegrator [11-15]. The experiment is aimed at determining the parameters of metal components transition into a solution by leaching in a disintegrator.

An integrated leaching method is applied in the following modes:

1. Agitation leaching of non-processed tailings.
2. Agitation leaching of previously activated tailing.
3. Tailing leaching in a disintegrator.
4. Agitation leaching of tailings activated in a disintegrator.
5. Multiple tailings leaching in a disintegrator.

According to the Box-Behnken design, independent factors are as follows:

the sulfuric acid content in the leaching solution (X_1) 2-10 g/l;

the sodium chloride content in the leaching solution (X_2) 20-160 g/l;

the weight ratio of the leaching solution mass and the leached mass (X_3) in a single experiment (50g) 4-10;

the leaching time (X_4) within 0.15-1.0 hours.

The quantity of tailings subjected to leaching in a single experiment is 50g. A previously prepared leaching solution of the specified composition is mixed with tailings at the first stage just before agitation leaching, on the second stage – after the leached material activation in a disintegrator, at other stages – before feeding to a disintegrator.

At the first and the second stages, agitation leaching of tailings with a solution in the form of a slurry obtained by adding the activated material to the leaching solution or in the form of a slurry obtained in tailings and the solution passing through a disintegrator is performed during the specified time with the constant and the same rotation speed. At the third stage the mixture obtained by adding tailings or the slurry into the leaching solution is fed into the disintegrator chamber. At the fourth stage, the mixture is also fed into the working disintegrator chamber and then it is leached for a specific time period in the agitator with the constant and the same rotation speed. At the fifth stage, the mixture of the initial materials with the leaching solution is run through the disintegrator the specific number of times, thus, increasing the activation time.

Basic percolation leaching is performed until the background content is achieved regardless of time. The combined activation lasts 60min. The experiment results indicate how activation of concentration tailings increases extraction of metals from tailings. Experiment results are interpreted mathematically in the form of logarithmical or polynomial interpolation.

The economic data bank is completed by calculating the costs for design implementing using the data of the technology application under similar conditions [16-18].

Results. Data on the system are used for correcting on all mining stages by continuous monitoring the processes accompanied by solution making according to the scheme (Fig. 3).

In the past, it took a long time to accumulate initial data and they soon became obsolete. At present, there are methods for calculating the parameters of mining operations on-the-fly.

In designing, basic indices are input into databases which allow developing software aimed at uniting the obtained data bases, analyzing their validity, calculating final indices from the differentiated contribution of each process and providing corresponding recommendations.

As finding an optimal solution means a complete overrun, it is advisable to apply the randomized search method, which performs local optimization with the solution time evaluation necessary for complete data overrun.

In mineral deposit mining, the parameters of technological processes should ensure the quality of the mined raw materials, economic efficiency and safety of mining operations. The criterion of the mined mineral quality is finding the plan in which the objective function is better than the functional which corresponds to the first random acceptable solution simulating the controlling impact.

The programme consists of an interface part ensuring a dialogue with a User and a calculating part containing the modules for determining the process parameters. The interface part provides the input, deletion and editing of demands and indices as well as regulates the composition and content of designs. It determines stope sizes, borehole location, charge design, muck pile geometry and mining safety.

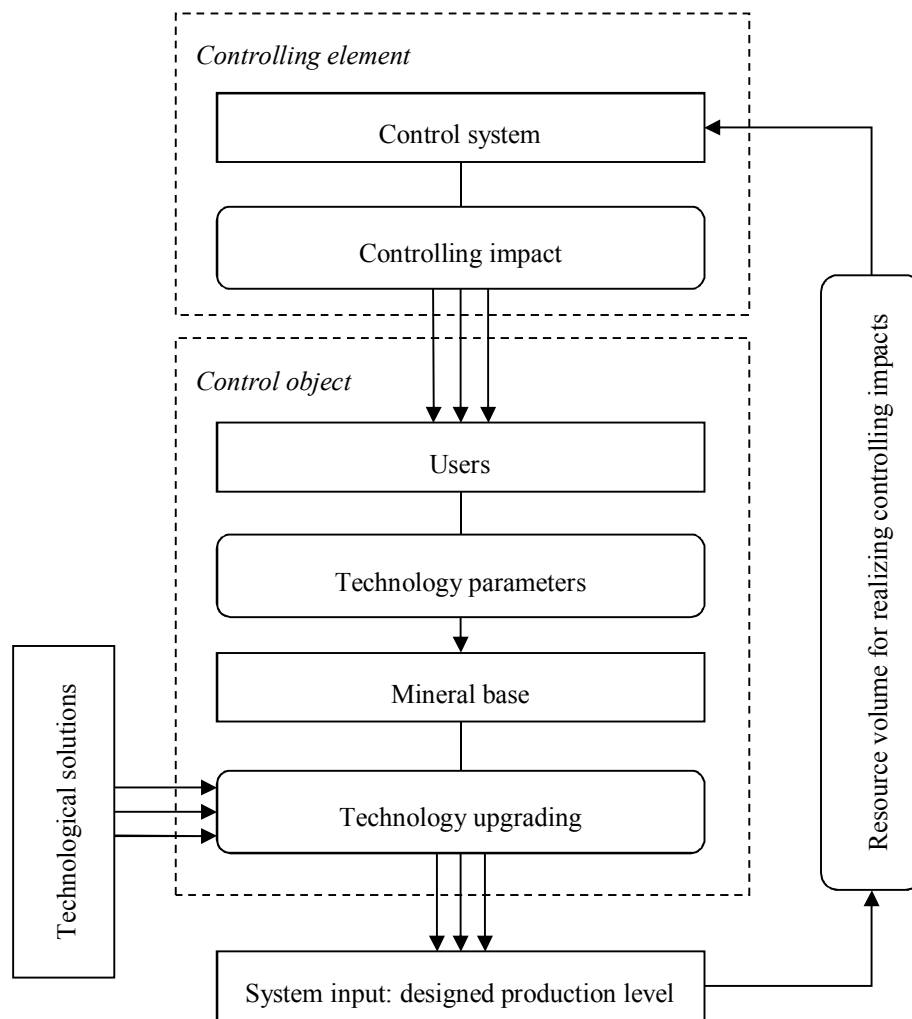


Fig. 3. Structural and functional scheme of system controlling a mining enterprise

The programme provides graphic interpretation of calculating schemes. The information body generates controlling impacts on the controlled object. The ratio between the impacts of the controlling centre and the controlled object conditions is determined by the transition function of the considered system.

New process parameters applied are used as controlling impacts. The controlled object's internal states are characterized by possible volumes of the design errors and the system output is the level of mining operations efficiency.

The design sections contain the following data: a mining system, the number of stopes and their sizes, a size limit, oversize yield, the type of drilling machines, the borehole diameter, applied explosives, loading equipment, the volume of the mined rock mass and the quality of raw materials.

In evaluating the quality of mining operations one determines the list of controlled parameters. The divergences of the parameters from their designed values are regulated. The acceptance order of the performed operations and the order of control performance of their correction are considered.

The system controlling mining processes include mathematical models and ways of their optimization. The created system tool is the GIS Arc View characterized by wide possibilities in working with databases and greater efficiency.

The suggested programme is realized at Bosniyskoye dolomite deposit (Russia, The Republic of North Ossetia-Alania).

The deposit reserves make 238mln t, which is sufficient for the open pit functioning with the annual capacity of 700 thousand t for 350 years. The lower part of the Central site of the deposit between 980m and 1090m is mined by benching in three steps (45m, 50m, 15m) bottom up with the slope angles of 70°.

The ore was broken by chamber explosive charges in 1.6m x 2.0m adits of 40m to 50m long. The distance between adits along the strike is 40m-50m. Dolomites roll down the lower bench slope.

Blasting control at Bosniyskoie deposit allowed decreasing the explosive charge quantity by 17% in ore breaking by 50m x 50m x 50m blocks. Blasting indices in ore haulage by blasting are reduced by 10% as compared with the basic technology of powder blast stoping.

The investigated control system connections and regularities allowed formulating interconnections of a designed object, users and an exploitation object in a mathematical form. The system controlling risks is analyzed and synthesized. There was suggested a model of the controlling system aimed at increasing mineral breaking efficiency and the transition and output functions of the system are developed.

The programme implementation of the computer system of the error risk control in drilling and blasting designing includes mathematical models of the considered processes and is aimed at decreasing the technology risk under limited resource conditions and providing a solution making support.

The software system should meet the following requirements:

the possibility of simultaneous application both by users and an administrator;

modern technologies application based on geoinformation systems;

increased efficiency due to a more complete application of computer resources;

availability of a mechanism for transforming data formats for data exchange.

Recommendations for implementing the methods include:

consideration of possible orientation of blasting blocks in borehole drilling;

focus of explosion stresses on maximum values in large-scale blocks;

application of low TNT explosives combined with powerful priming explosives.

Besides the economic efficiency, the quality increase of mining technology designing is characterized by the decreased negative effect on the environment [19-20].

Evaluation of the design conformity with the environment conditions is an integral part of the design (Fig. 4).

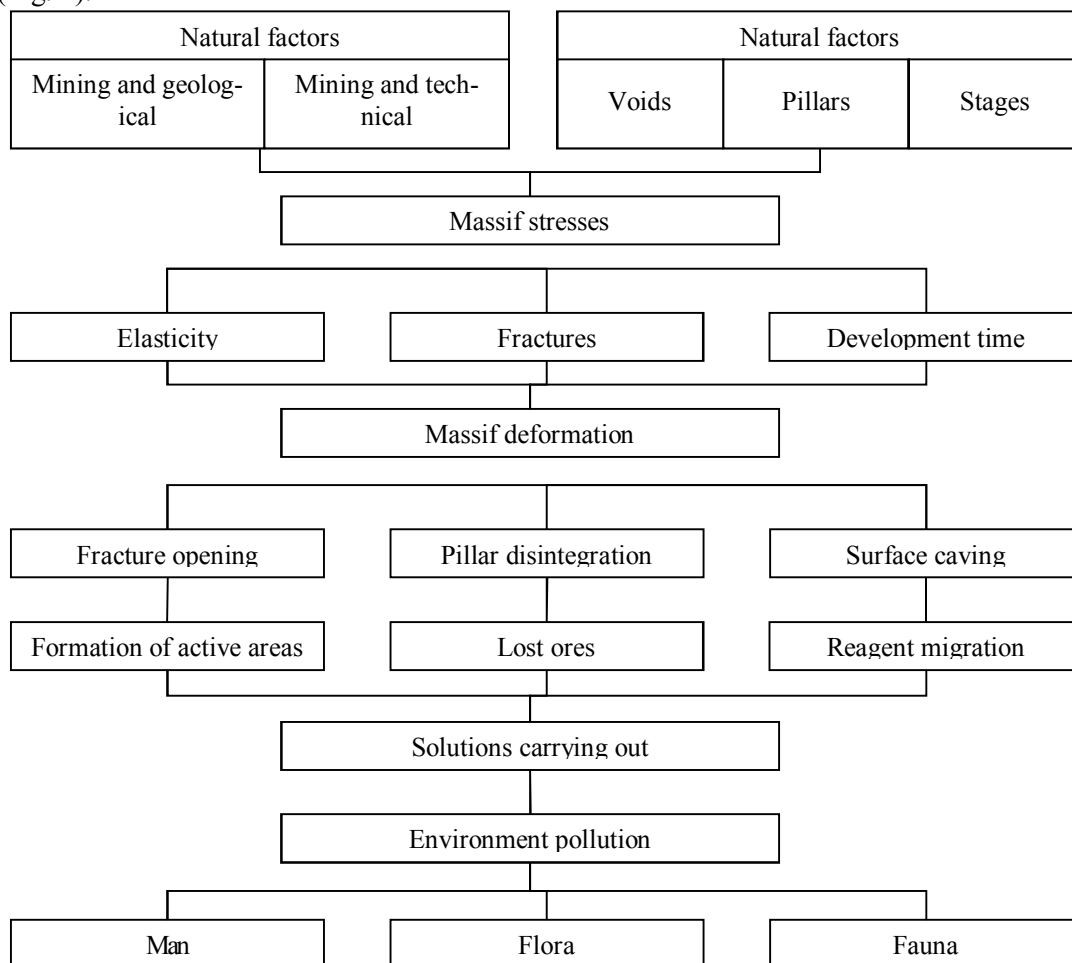


Fig.4. Algorithm of environment evaluation

Conclusions. Implementation of modern designing technologies of mining processes based on concepts of databases in simulation, expert and geoinformation systems of ore mining and processing is a promising, yet not widely used potential for increasing mining efficiency.

The investigated control system connections and regularities allow formulating the principles of interconnections of a designed object, users and an exploitation object on the basis of analyzing and synthesizing the system controlling the design risks as well as developing control models system aimed at increasing mining efficiency.

References

1. **Lukyanov V. G.** Blasting operations / V.G. Lukyanov, V.I. Komashchenko, V.A. Shmurygin – Tomsk National Polytechnical University: Tomsk, 2013.
2. **Liashengko V. I.** Upgrade of a technical and technological complex of uranium mining production / V. I. Liashengko, V. P. Franchuk, B. P. Sour // Ore and Metals. Mining Magazine. – 2015. – Vol 1. – P. 26-32.
3. **Komashchenko V.I.** Development of the explosive technology reducing harmful effects on the environment / V.I. Komashchenko // Tula State University news, Sciences about Earth. – 2016. – 1. – P. 34-43.
4. **Golik V.** Improving the effectiveness of explosive breaking on the bade of new methods of borehole charges initiation in quarries / V. Golik, V. Komashchenko, V. Morkun, I. Gaponenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Vol 7. – P. 383-386.
5. **Golik V.I.** Underground mining of felds / V.I. Golik. – Moscow: Infra, 2014.
6. **Golik V.I.** Development of mineral deposits / V.I. Golik. – Vladikavkaz: MAVR, 2006.
7. **Golik V.I.** Foundations of scientific research in mining / V.I. Golik. – Moscow: Infra, 2014.
8. **Golik V.I.** Nature protection technologies of massif state control on geomechanics basis / V.I. Golik, V. I. Komashchenko. – Moscow: KDU, 2010.
9. **Golik V.I.** Environment saving geotechnologies in mining / V.I. Golik, O. N. Polukhin. – Belgorod: Belgorod state university, 2013.
10. **Burton N.** Application of Q-System and index tests to estimate shear strenght and deformability of rock masses / N. Burton // Thesis of Workshop on Norwegian Method of Tunneling, New Delhi. – 1993. – P. 66–84.
11. **Golik V. I.** Experimental study of non-waste recycling tailings ferruginous quartzite / V.I. Golik, S.G. Stradanchenko, S.A. Maslennikov // Research India Publications. – 2015. – Vol 15. – P. 35410-35416.
12. **Golik V.I.** Metal extraction from ore beneficiation codas by means of lixiviation in a disintegrator / V.I. Golik, Y.I. Razorenov, O.N. Polukhin // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. – Vol 10 (17). – P. 38105–38109.
13. **Golik V.I.** Activation of technogenic resources l disintegrators / V.I. Golik, V.I. Komashchenko, Yu. I. Razorenov // Mine Planning and Equipment. – 2013. – P. 1101-1106.
14. **Golik V.** Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures / V. Golik, V. Komashchenko, V. Morkun // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Vol 7 (3). – P. 38-41.
15. **Golik V.I.** Extraction of metals from enrichment tails by the combined activation methods / V.I. Golik // Enrichment of ores. – 2010. – Vol 5. – P. 38-40.
16. **Golik V.** The effectiveness of combining the stages of ore fields development / V. Golik, V. Komashchenko, V. Morkun, Z. Khasheva // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Vol 5. – P. 401-405.
17. **Golik V.I.** Diversification of the economic foundations of depressive mining region / V.I. Golik, Z.M. Hasheva, S.V. Galachieva // Medwell Journals, the Social Sciences. – 2015. – Vol 10 (5). – P. 678-681.
18. **Golik V.** The effectiveness of combining the stages of ore fields development / V., Golik, V. Komashchenko, V. Morkun, Z. Khasheva // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Vol 5. – P. 401-405.
19. **Golik V.I.** Nature protection technologies of massif state control on geomechanics basis / V.I. Golik, V. I. Komashchenko. – Moscow: KDU, 2010.
20. **Komashchenko V. I.** Influence of prospecting and mining industry on the environment / V. I. Komashchenko, V. I. Broom. – Moscow: KDU, 2010.

The editorial board received a manuscript on 18.04.2018

УДК 62-408:622.012.2-023.7

D.V. BROVKO, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., Head of Research Department,
V.V. KHVOROST, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., V. Yu. TYSHCHENKO, Research Assoc.,
Kryvyi Rih National University

SAFE OPERATION OF SURFACE OBJECTS

Purpose. Development of a system analysis of current risks of possible structural design defects and organizational reasons for accident as one of the methods for assessing the reliability of structural elements in the mine surface objects that allows to control over operation safety.

Methodology. An analytical model for determining the risk assessment of a construction accident with collapse of

structures has been developed. The technical condition of the mine surface object has been tested and the value of its actual survivability has been determined. To define the standard risk levels, the object is represented as a system consisting of connected groups of identical support elements. Modeling takes into account the key parameters including technical, human and organizational factors, as well as the cost for urgent safety work.

Scientific novelty. The scientific novelty of the method under consideration is an adequate description of reliability of surface mining objects structural elements, which takes its place among the up-to-date experimental studies of the industrial site safety.

Practical significance. The system analysis of the risks of possible design defects for determining the reliability of the object at some point in time and the safe residual resource has been developed. The proposed activities resulted in increasing cost and benefit assessment of implementing measures to reduce the risk of an accident based on the hazard identification. Final recommendations have been developed to manage the safe operation of the facility using the existing regulatory framework for labor protection.

Results. Three levels of risk are identified as follows: negligible risk, acceptable risk and unacceptable risk. The model that allows for systematic risk analyses of possible structural defects in construction by comparing its actual with acceptable boundaries has been obtained. The proposed methodology can be used to assess the survivability degree and the safe residual service life of an object.

Keywords. Risk, accident, reliability, safety, residual resource.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-216-221

The high level of injuries and especially accidents involving fatal injuries in Ukraine raises the issue of improving the prevention methods. In recent years, production in the world is estimated on the base of safety adverse event risk. The international organizations ISO, IMO and others have developed theoretical bases and methods of risk assessment and the technical solutions for the prevention from accidents and injuries in the workplace [1-3]. Experts from various industries in their reports constantly define not only "danger" but also such a term as "risk".

In the scientific literature there are various interpretations of the term "risk" and its definitions sometimes differ from each other by content. For example, the risk in the insurance terminology is used to refer to an insurance object (industrial enterprises or firms), an insured event (flood, fire, explosion, etc.), an insured sum (risk in monetary terms) or as a collective term to refer to unwanted or uncertain events. Economists and statisticians, faced these issues, understand the risk as a measure of the possible consequences, that will emerge at some point in the future. Psychological dictionary defines "risk" as an action aimed at attractive goal, the achievement of which involves elements of danger, risk of loss, failure, or as a situational characteristic of activity consisting in uncertainty of its outcome and possible adverse consequences in case of failure; or as a distress measure with non-success in the activities, resulted by the combination of the probability and magnitude of adverse effects in this case. A number of interpretations reveal the risk as a probability of accident occurrence, danger, accident or disaster under certain conditions of production or human environment. These definitions emphasize the value of the vigorous activity of the subject and objective properties of the environment.

Common to the above distinctions is that the risk includes uncertainty, whether either an undesirable event occurs or an unfavorable condition arises. In line with modern views, risk is usually interpreted as a probabilistic measure of the occurrence of man-caused or natural phenomena accompanied by the emergence, formation and operation of hazards with ongoing social, economic, environmental and other harm and loss.

By the risk should be meant an expected frequency or a probability of hazard occurrence of a certain degree, or the amount of possible damages (loss, harm) against undesirable event, or some combination of these values. The use of the concept of risk, thus, allows to consider the risk as a measurable category. In fact, the risk is the measure of danger. The often use of the term "risk" (level of risk) essentially doesn't differ from the concept of risk, but only emphasizes that it is about the measurand.

All of these (or similar) interpretations for the term "risk" currently are used in the analysis of hazards and safety production management in general.

The risk occurs under the following necessary and sufficient conditions:

the existence of a risk factor (source of danger);

the presence of this risk factor in a dangerous (or harmful) dose for the impact object;

the exposure (sensitivity) of the impact objects to factor dangers.

Among accidents in different industries you can notice the obvious similarities. Usually an accident is preceded by the accumulation of defects in the equipment or deviations from the normal pro-

cesses. This phase can last for minutes, days or even years. By themselves, the defects or deviations do not lead to an accident, but prepare the ground for it. The operators usually tend to overlook this phase due to the neglect to regulations or a lack of information about the work object, so that they do not have a sense of danger. The next phase is sudden or rare event that significantly changes the situation. The operators are trying to restore the normal process, but, not having full information, often only exacerbate the development of the accident. Finally, the last phase of another unexpected event - sometimes very little - plays the role of a push, after which the technical system ceases being governed by the people, and there is a disaster.

Risk is an inevitable concomitant factor of industrial activities. The risk is objective and characterized by suddenness, unexpectedness of onset. This involves the risk forecast, its analysis, assessment and control, i.e., a number of actions to prevent risk factors or lessening the impact of hazard.

Construction, reconstruction and operation of facilities on the surface of the mines belongs to the highest degrees of risk due to the specifics of work performance (lack of permanent jobs and increased risk of production processes), as well as organizational factors. This requires the improvement of the preventive measures in increasing construction safety through the existing risk assessment methods [4-9].

The aim of this work is to use a known technique for the analysis of potential accident hazards of facilities (structural collapse) and transform it to conditions of construction.

Human safety and environmental protection are the two interrelated problems of health and safety. International Standardization Organization (ISO) interprets safety as the absence of unacceptable risk with the possibility of damage [1].

On the basis of analysis and synthesis of the research results in the field of technogenic safety was developed a guide on Formal Safety Assessment (FSA) [2]. The FSA is a structured and systematic methodology designed to increase security, including the protection of life and human health, as well as environment and property based on a risk assessment taking into account the required costs and benefits.

Most often risk is defined as the frequency of realization of the unwanted event - a quantitative risk assessment [3].

The FSA considers the term "risk" as a product of damage caused by accident, that is, the risk value can be calculated from the following equation

$$R = \lambda \cdot Y, \quad (1)$$

where R is the estimated risk value, 1/year or UAH./year.; λ is the frequency of accidents of this type, 1/year; Y is the damage caused by accident, without dimension or in UAH.

The dimension 1/year is used in estimating a risk of human death (individual risk) and the dimension of the UAH. /a year in assessing a risk of material loss or environmental risk.

In accordance with the FSA [2] the scale of risk has three areas. The first risk is negligible; the second risk is so great that it is considered excessive or inappropriate. Between these two areas is an area of acceptable risk, i.e. the risk, which is not so small to be ignored, but not large enough to consider it excessive.

In general, acceptable risk is the level of anthropogenic activities which society is willing to accept for the resulting economic and social benefits.

In accordance with the criteria adopted in the world practice [2], individual risk exceeding $1 \cdot 10^{-4}$ 1/UAH is considered unacceptable when during the year 1 death from 10000 is caused by undesirable events.

Acceptable is the individual risk, if its level lies in the range $1 \cdot 10^{-4}$ - $1 \cdot 10^{-6}$ 1/year. This area of risk requires the special measures to its control. The risk value $1 \cdot 10^{-6}$ 1/year in well-developed countries is considered as the acceptable level of risk. An area of risk below this value suggests that the safety measures taken in technological activity are at a level that does not require special interventions for their improvement.

In assessing the degree of risk, the total damage caused by both the loss of life and material losses and environmental damage should be considered. It is necessary to consider the compliance of the material damage in monetary terms with the damage from the human death.

The used method is based on the concept of acceptable risk and identifies hazards before resulting to accidents. This takes into account technical, human and organizational factors, as well as the cost of improving security.

We performed a risk assessment of an accident constructions with structural collapse. Implementation of the methodology includes several stages.

The first stage is the assessment of the degree of accident risk and risk identification of its occurrence.

To estimate the risk value, we use the proposed method for determining the indices of frequency and damage caused by accidents with the use of a logarithmic scale, transforming it for conditions of our problem.

According to the methodology: risk = frequency \times damage or

$$\lg R = \lg \lambda + \lg Y \quad (2)$$

then

$$R = 10^{[\lg \lambda + \lg Y]} = \lg \lambda \cdot \lg Y. \quad (3)$$

By introducing the notation $\lg \lambda = (FI - 6)$ and $\lg Y = (SI - 3)$ we obtain an equation for estimating the risk value

$$\lg Y = (SI - 3), \quad (4)$$

where FI is the frequency index of accidents; the number 6 is subtracted from the frequency index corresponds to the frequency value of 1.0 1/year (tab.1); SI is the index of damage caused by the accident (Severity Index); the number 3 subtracted from the index of damage corresponds to the relative damage of 1.0 (table.2); RI is the accident Risk Index, the values of which are given in table.3.

As you can see, the value of (-9) in the exponential expression ($RI-9$) of formula (4) corresponding to the frequency of accidents 1 per year, with the relative damage of 1.0 is taken as the base in determining the risk R . The risk value for other combinations of FI and SI is determined on the basis of statistical data or expert method using the table.1-3 [9-13]. In table.3, accident risk indices (RI) are the summation of the indices of damage (SY) and the frequency of accidents (FS). Having determined with the help of tables the risk index according to the formula (4), it is possible to set the numeric value of accident risk, to compare it with acceptable values and to make a conclusion about the level of considered risk.

Table 1

Accidents Frequency Indices

FI	Accident frequency	Determination method	λ (at one facility per year)
1	Extremely rarely	once in 100 years, at one of the 1000 facilities	10-5
2		once in 10 years, at one of the 1000 facilities	10-4
3	Rarely	once a year, at one of the 1000 facilities	10-3
4		once a year, at one of the 100 facilities	10-2
5	Moderately	once a year, at one of the 10 facilities	10-1
6		once a year, at 1 facility	1,0
7	Frequently	once a month at one facility	10

Table 2

Severity Indices

SI	Damage from the accident	Influence on human	Influence on construction	Relative damage
1	Low	Individual or minor injuries	Local damage to the equipment	10-2
2	Significant	Numerous or serious injury	Insignificant damage to facilities	10-1
3	Severe	A single death or numerous injuries	Severe damage to facilities	1,0
4	Catastrophic	Numerous deaths	Complete destruction of facilities	10

Table 3

Accident Risk Indices RI

FI	Accident frequency	Severity (damage) caused by accident (SI)			
		1 low	2 significant	3 severe	4 catastrophic
1	Extremely rarely	2	3	4	5
2		3	4	5	6
3	Rarely	4	5	6	7
4		5	6	7	8
5	Moderately	6	7	8	9
6		7	8	9	10
7	Frequently	8	9	10	11

On the basis of statistical data, we assume that an accident with full collapse may occur once a year at one of the 100 structures, i.e., $FI=4$. This accident is usually accompanied by numerous deaths and causes severe structural damage, it refers to a severe $SI=4$. Then, on the basis of the data in the table.3 is determined the accident risk index $RI=7$.

Substituting the found value RI in the formula (4), we determine the risk value of an accident $R = 10^{[RI-9]} = 10^{[7-9]} = 10^{-2}$ 1/ year.

Comparing the obtained risk value with its permissible limits, we conclude that the risk of an accident facilities (structural collapse) is unacceptable (10^{-2} 1/year $> R_{acceptable} < 10^{-4}$ 1/year) and requires for additional measures to reduce it [14, 15].

With this purpose, we identify the accident risk and evaluate the factors influencing the risk value by constructing a risk-sharing tree (tree of events and hazards).

The goal of the next phase is the selection of measures to reduce the accident risk based on the hazard identification.

The third stage involves the assessment of the costs and benefits of measures implementation proposed at the previous stage.

The final stage sets final recommendations on the construction safe operation management using the existing regulatory framework on labor protection.

Conclusions. Thus, a systematic analysis of the risk of possible structural defects and organizational reasons for accident occurrence enables to control safety in its operation.

We hope that after our more detailed studies, this technique could be applied in analyzing the risk of any process in the construction, repair and operation of buildings and structures on the surface of mining enterprise.

References

1. **Safety, Sanitation and Hygiene.** Terminology: Reference Guide. Moscow: Edition of Standards, 1990. - 173 p.
2. Formal Safety Assessment Including Environmental Indexing of Ships. MEPS 45/13, 2000.
3. **Korzyk B.M.** Theoretical basics of life safety. Kyjiv, 1995.- 107 p.
4. **Holicky M., Diamantidis D., Sykora M.:** Risk and reliability acceptance criteria for civil engineering structures. In: Structural Reliability and Modelling in Mechanics, At Ostrava, Czech Republic, May 2016
5. **Holicky M., Diamantidis D., Sykora M.:** Determination of target safety for structures. In: Haukaas, T. (Ed.) (2015). Proceedings of the 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, Vancouver, Canada, July
6. **Holicky M., Diamantidis D., Johan V. Retief, Celeste V.:** On standardization of the reliability basis of structural design. In: Haukaas, T. (Ed.) (2015). Proceedings of the 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP12), Vancouver, Canada, July 12-15.
7. **Holicky M., Sykora M.:** Probabilistic Assessment Of Industrial Heritage Structures: Framework And Case Study. In: WIT Press, Ashurst Lodge, Southampton, UK. 2013
8. **K.M. Chaminda Konthesinghaa, Mark G. Stewarta, Paraic R., John G., David H.:** Reliability based vulnerability modelling of metal-clad industrial buildings to extreme wind loading for cyclonic regions. In: Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Volume 147, December 2015, Pages 176–185
9. **Zhang Lei, Jie Liu:** Research on Industrial Building's Reliability Assessment Based on Projection Pursuit Model. In: Computational Intelligence and Security (CIS), 2011 Seventh International Conference on, December 2011, Pages 1345–1349, Hainan 2011.
10. Globalna aspekty Ekonomii Światowej i Stosunków Międzynarodowych w warunkach niestabilności gospodarczej: monografia Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Praktycznej, Częstochowa, Akademia polonijna, 2016. – 897 s.
11. **Brovko, D.V. and Khvorost, V.V.** Research of metal arch support designs in terms of Kryvbas. Geotechnical Mechanics: Interdepartmental collection of theses. - Dnepropetrovsk: IGMU NASU, no. 123 (2015): 99-106.
12. **Brovko, D.V. and Khvorost, V.V.** Reliability Determination of mine buildings in restricted information. Monthly Journal «Smart and Young», no. 3 (2016): 152-157.
13. **Andreev B.N., Brovko, D.V. and Khvorost, V.V.** Risk evaluation of construction reliability operating at mining enterprise. Collection of scientific papers: Belarusian National Technical University. – Minsk. - Volume 1 (2013): 180-190.
14. **Andreev B.N., Brovko D.V., Pismennyi S. V.** Pismennyi Prospects of maintaining production capacity of Krivbas mines. Collection of scientific papers: Proceedings of the Tula State University. - Tula. (2016): 115-120.
15. **Andreev B.N., Brovko, D.V. and Khvorost, V.V.** Determination of reliability and justification of object parameters on the surface of mines in transition to the lighter enclosing structures/ Metallurgical and Mining Industry, no.12(2015): 378–382.

The editorial board received a manuscript on 19.04.2018

АНОТАЦІЇ

УДК 528.48

Сидоренко В.Д., Ковтун В.Я., Куриляк І.С., Ковтун М.В. Методи і технології геоінформаційного автоматизованого деформаційного моніторингу як економічно-ефективний підхід збереження небезпечних об'єктів і територій в Україні та Кривбасі

Мета. У статті розглянуто питання використання геоінформаційних технологій, які допомагають фахівцям у моніторингу довкілля. Геологічні процеси налічують мільйони років, в результаті такої активності отримуємо катастрофи антропогенної властивості, здатні забрати сотні тисяч людських життів і завдати народному господарству непоправних втрат.

Методи: наведені сучасні методи та технології, які показують доцільність і необхідність застосування автоматизованої системи деформаційного моніторингу – АСДМ для створення єдиного геоінформаційного простору в Україні та Криворізькому гірничовидобувному регіоні. Для збереження великих територій та проблемних об'єктів, інженерних споруд необхідно створення геоінформаційних моніторингових центрів із застосування апаратних засобів, ГНСС приймачів, високоточних роботизованих електронних тахеометрів, цифрових інклінометрів, акселерометрів, систем екстреного он-лайн сповіщення та вимірювання резонансних частот, обліку метеорологічних і інших даних та інформаційного забезпечення.

Наукова новизна: з метою підвищення безпеки гідротехнічних споруд на ГЕС впроваджуються автоматизовані системи контролю їх стану, що є складовою частиною системи забезпечення безпеки гідротехнічних споруд.

Практична значимість: економічність та рентабельність застосування автоматизованої системи деформаційного моніторингу – АСДМ для створення єдиного геоінформаційного простору в Україні та Криворізькому гірничовидобувному регіоні має велике значення для безпечності і запобігання екологічних та інших катастроф.

Результати: створення системи моніторингу має враховувати структуру та вимоги до інформаційних ресурсів, технічне, програмне забезпечення, обґрунтування технологічних процесів, математичні методи аналізу, моделювання та прогнозування деформаційних процесів. Виконання аналізу отриманих результатів передбачає моделювання деформаційних процесів та прогнозування стану території довкілля для оперативного реагування на небезпечні зміни, формування аналітичної звітної та іншої документації та розроблення вимог щодо удосконалення та змін в системі моніторингу. Проектування системи моніторингу має здійснюватись на основі загальноприйнятих інструментальних ГІС та систем керування базами даних з функціями підтримки геопросторових даних згідно з міжнародними стандартами. Економічність та рентабельність таких рішень має велике значення для безпечності і запобігання екологічних та інших катастроф.

Ключові слова: моніторинг, геоінформаційна система, гірничовидобувний регіон, геологічні процеси, деформація, ГНСС приймач, електронний тахеометр, рентабельність, антропогенні властивості.

Сидоренко В.Д., Ковтун В.Я., Куриляк І.С., Ковтун М.В. Методы и технологии геоинформационных автоматизированного деформационного мониторинга как экономически-эффективный подход сохранения опасных объектов и территорий в Украине и Кривбасе

Цель. В статье рассмотрены вопросы использования геоинформационных технологий, которые помогают специалистам в мониторинге окружающей среды. Геологические процессы исчисляются миллионами лет, в результате такой активности получаем катастрофы антропогенного свойства, способные забрать сотни тысяч человеческих жизней и нанести народному хозяйству непоправимый ущерб.

Методы: приведены современные методы и технологии, которые показывают целесообразность и необходимость применения автоматизированной системы деформационного мониторинга - АСДМ для создания единого геоинформационного пространства в Украине и Криворожском горнодобывающем регионе. Для хранения больших территорий и проблемных объектов, инженерных сооружений необходимо создание геоинформационных мониторинговых центров по применению аппаратных средств, ГНСС приемников, высокоточных роботизированных электронных тахеометров, цифровых инклинометров, акселерометров, систем экстренного онлайн оповещения и измерения резонансных частот, учета метеорологических и других данных и информационного обеспечения.

Научная новизна: с целью повышения безопасности гидротехнических сооружений на ГЭС внедряются автоматизированные системы контроля их состояния, является составной частью системы обеспечения безопасности гидротехнических сооружений.

Практическая значимость: экономичность и рентабельность применения автоматизированной системы деформационного мониторинга - АСДМ для создания единого геоинформационного пространства в Украине и Криворожском горнодобывающем регионе имеет большое значение для безопасности и предотвращения экологических и других катастроф.

Результаты создания системы мониторинга должна учитывать структуру и требования к информационным ресурсам, техническое, программное обеспечение, обоснования технологических процессов, математические методы анализа, моделирования и прогнозирования деформационных процессов. Выполнение анализа полученных результатов предусматривает моделирование деформационных процессов и прогнозирования состояния территории окружающей среды для оперативного реагирования на опасные изменения, формирование аналитической отчетной и другой документации и разработка требований по совершенствованию и изменений в системе мониторинга. Проектирование системы мониторинга должно осуществляться на основе общепринятых инструментальных ГИС и систем управления базами данных с функциями поддержки геопространственных данных в соответствии с международными стандартами. Экономичность и рентабельность таких решений имеет большое значение для безопасности и предотвращения экологических и других катастроф.

Ключевые слова: мониторинг, геоинформационная система, горнодобывающий регион, геологические процессы, деформация, ГНСС приемник, электронный тахеометр, рентабельность, антропогенные свойства.

Sydorenko V.D., Kovtun V. Ya., Kuryliak I. S., Kovtun M. B. Methods and technologies of geoinformation automated deformation monitoring as a cost-effective approach to the conservation of hazardous objects and territories in Ukraine and Kryvbas

Purpose. The application of geoinformation technologies which help specialists in environment monitoring is under consideration of the article. Geological processes have been for million years, as a result of such an activity, we receive catastrophes with anthropogenic properties able to take many hundreds of thousands of human lives and cause irreparable losses to the national economy. The general description and definition of geoinformation systems is given, the general characteristics of their components and their defining functions are considered.

Methods. Given modern methods and technologies demonstrate the feasibility and necessity of automated deformation monitoring system application to create a single geographic information space in Ukraine and in the Kryvyi Rih mining region. In order to preserve large territories, problem objects and engineering structures, it is necessary to create geoinformation monitoring centers with hardware application GNSS receivers, high-precision robotic electronic tachometers, digital inclinometers, accelerometers, emergency online alert systems and measurements of resonant frequencies, meteorological and other measurement data and information support.

Scientific novelty. To improve the safety of hydraulic structures at the HPP, automated control systems of their condition are implemented, which is an integral part of the safety system of hydraulic structures.

Practical significance. The profitability of the automated deformation monitoring system for creating a single geographic information space in Ukraine and the Kryvy Rih mining region is of great importance for the safety and prevention of environmental and other disasters.

Results. The monitoring system should take into account the structure and requirements for information resources, technical and software, substantiation of technological processes, mathematical methods of analysis, modeling and forecasting of deformation processes. The analysis of the obtained results includes simulation of deformation processes and forecasting of the state of the environment for prompt response to dangerous changes, formation of analytical reporting and other documentation, and development of requirements for improvement and changes in the monitoring system. The design of the monitoring system should be based on generally accepted instrumental GIS and database management systems with geospatial data support functions in accordance with the international standards. The cost-effectiveness and profitability of these solutions is important for safety and prevention of environmental and other disasters.

Keywords: monitoring, geoinformation system, mining region, geological processes, deformation, GNSS receiver, total station, efficiency, anthropogenic characteristic.

УДК 691.175; 69.04

Валовой О.І., Попруга Д.В., Люльченко Є.В., Чорна К.В. Визначення прогинів згинальних елементів армованих склопластиковою і металеву арматурою

Мета. Метою роботи є аналіз прогинів дослідних балок армованих склопластиковою і металеву арматурою.

Методи дослідження. Математичне моделювання дослідних зразків у розрахунково-обчислювальному комплексі SCAD Office в лінійній постановці з урахуванням об'ємного напруженого стану.

Наукова новизна. Визначені деформації нормального перерізу дослідних балок в залежності від матеріалу робочої арматури, а при комбінованому армуванні - відсотка склопластикової та металеву арматури.

Практична значимість. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та виготовленні згинальних будівельних конструкцій армованих склопластиковою арматурою.

Результати. При використанні в якості робочої арматури склопластикової арматури 3Ø10 АКС 800, аналогічного діаметра з металеву 3Ø10 А 400С, відбувається збільшення деформацій прогинів на 7,74 %. Збільшення площі розтягнутої склопластикової арматури на 23,43 % призводить до зниження деформацій прогинів до рівня 6,45 %, тобто на 16,7 % менше у порівнянні з 3Ø10 АКС 800. При збільшенні площі розтягнутої склопластикової арматури на 77,83 % відбувається зниження деформацій прогинів до рівня 4,90 %, тобто на 36,7 % менше у порівнянні з 3Ø10 АКС 800. Зменшення площі робочої склопластикової арматури, за рахунок включення в розтягнуту зону металеву стержня Ø10 А400С, призводить до зменшення деформацій прогинів дослідних балок на 36-36,7 % у порівнянні з балками, що мають суцільне композитне армуванням розтягнутої зони. Більш значні прогини балок армованих у розтягнутій зоні склопластиковою арматурою і комбінованим армуванням, у порівнянні з металевим армуванням, пояснюються модулем пружності склопластикової арматури, який приблизно в чотири рази менший за аналогічний показник металеву арматури. Розвиток подальших досліджень буде спрямовано на моделювання напружено-деформованого стану балок з урахуванням фізичної нелінійності матеріалів.

Проведення натурного експерименту і порівняння отриманих результатів з аналітичними даними, дозволить вдосконалити існуючу методику розрахунку будівельних конструкцій армованих композитною арматурою.

Ключові слова: склопластикову арматура, деформації, прогин, переріз, навантаження, вузол, модуль пружності.

Валовой О.И., Попруга Д.В., Люльченко Е.В., Черная К.В. Определение прогибов изгибаемых элементов армированных стеклопластиковой и металлической арматурой

Цель. Целью работы является анализ прогибов исследуемых балок армированных стеклопластиковой и металлической арматурой.

Методы исследования. Математическое моделирование исследуемых образцов в расчетно-вычислительном комплексе SCAD Office в линейной постановке с учетом объемного напряженного состояния.

Научная новизна. Определены деформации нормального сечения исследуемых балок в зависимости от материала рабочей арматуры, а при комбинированном армировании - процента стеклопластиковой и металлической арматуры.

Практическая значимость. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и изготовлении изгибаемых строительных конструкций армированных стеклопластиковой арматурой.

Результаты. При использовании в качестве рабочей арматуры стеклопластиковой арматуры 3Ø10 АКС 800, аналогичного диаметра с металлической 3Ø10 А 400С, происходит увеличение деформаций прогибов на 7,74 %. Увеличе-

ние площади растянутой стеклопластиковой арматуры на 23,43 % приводит к снижению деформаций прогибов до уровня 6,45 %, то есть на 16,7 % меньше в сравнении с 3Ø10 АКС 800. При увеличении площади растянутой стеклопластиковой арматуры на 77,83 % происходит снижение деформаций прогибов до уровня 4,90 %, то есть на 36,7 % меньше в сравнении с 3Ø10 АКС 800. Уменьшение площади рабочей стеклопластиковой арматуры, за счет включения в растянутую зону металлического стержня Ø10 А400С, приводит к уменьшению деформаций прогибов исследуемых балок на 36-36,7 % в сравнении с балками, которые имеют сплошное композитное армирование растянутой зоны. Более значительные прогибы балок армированных в растянутой зоне стеклопластиковой арматурой и комбинированным армированием, в сравнении с металлическим армированием, объясняются модулем упругости стеклопластиковой арматуры, который приблизительно в четыре раза меньше аналогичного показателя металлической арматуры. Развитие дальнейшего исследования будет направлено на моделирование напряженно-деформированного состояния балок с учётом физической нелинейности материалов.

Проведение натурального эксперимента и сравнение полученных результатов с аналитическими данными, позволит улучшить существующую методику расчёта строительных конструкций армированных композитной арматурой.

Ключевые слова: стеклопластиковая арматура, деформации, прогиб, сечение, нагрузка, узел, модуль упругости.

Valovoi O.I., Popruga D.V., Lyulchenko Y.V., Chorna K.V. Deflections' determination for bending elements reinforced with fiberglass and metal armature

Purpose. The analysis of the deflections in the tested beams reinforced with the fiberglass and metal armature.

Research methods. The mathematic simulation of the tested samples using SCAD Office in linear position due to the volume tension mode was taken as the main method.

Academic novelty. The deformations of the normal cross-section for the tested beams depending on the material of the working armature are determined. It is also defined the percentage of the fiberglass and metal armature upon the application of the combined reinforcement.

Practical implications. The obtained data can be used while designing and manufacturing of the bending building structures reinforced with the fiberglass armature.

Results. Using the fiberglass armature 3Ø10 АКС 800 as the working one of the appropriate diameter with the metal armature 3Ø10 А 400С, the deflections' deformation increases by 7,74 %.

The extension of the area of the tensile armature by 23,43 % results in the deformation reduction of the bendings to the level of 6,45 %, it is 16,7 % less in comparison with 3Ø10 АКС 800.

When the area of the tensile fiberglass armature is 77,83 % extended, it causes the reduction of the deformation in the bendings to the level of 4,90 %. It is 36,7 % less in comparison with 3Ø10 АКС 800.

The reduction in the area of the working fiberglass armature by means of the inclusion the pencil rod Ø10 А400С in the tensile area, causes the reduction of the deformation in the bendings of the tested beams by 36-36,7 % in comparison with the beams of solid-composite reinforcement of the tensile area.

The bigger deflections of the beams reinforced with the fiberglass and combined armature in the tensile area in comparison with the metal reinforcement are explained by the fiberglass armature's modulus of elasticity, which is four times less than the corresponding value of the metal armature.

Keywords: fiberglass armature, deformation, bending, cross-section, loading, junction, modulus of elasticity.

УДК 624.137.5

Настич О.Б., Хоруженко І.В. Удосконалення методів розрахунку та проектування підпірних стін з урахуванням розділення на складові частини коефіцієнтів запасу міцності

Мета. Метою даної роботи є узагальнення та уточнення основних методів проектування та розрахунку підпірних стін. Важливим у розрахунках є врахування коефіцієнтів запасу. Існуючі методи недостатньо висвітлені в сучасній навчально-технічній літературі та, як правило, не знаходять належного відображення в курсах лекцій з опору матеріалів та будівельної механіки, що читаються в технічних вузах. Дана стаття має на меті заповнити цю прогалину, що, в свою чергу, послужить раціональному конструюванню підпірних стін, що застосовуються при виявленні дефектів і пошкоджень будівель і споруд, причиною яких є нестабільність основи.

Методи дослідження. Існують основні принципи розрахунку підпірних стін. Виходячи з граничних станів повинні бути зроблені наступні розрахунки: на стійкість до перекидання; на стійкість до зсуву-ковзання; на міцність самої конструкції підпірної стіни; на міцність ґрунту основи; на деформацію ґрунту основи; на тріщиностійкість елементів конструкції.

Наукова новизна. Актуальність даної роботи пов'язана із розв'язанням поставленої задачі. В статті проаналізовано та досліджено публікації, де було застосовано нову методику перевірок стійкості підпірної стіни, яка враховує міцність і деформацію її основи і яка відповідає новому трактуванню коефіцієнта запасу.

Практична значимість. Найбільшу величину активного тиску ґрунту при наявності на горизонтальній поверхні заливки рівномірно розподіленого навантаження необхідно визначати при розташуванні цього навантаження в межах всієї призми обрушення, якщо навантаження не має фіксованого положення. Перевірочний розрахунок підпірної стіни на стійкість за методикою єдиного коефіцієнту запасу зводиться до обчислення коефіцієнта запасу як відношення утримуючої сили T_y до зсувної T_c . Коефіцієнт запасу стійкості показує, у скільки разів має зрости тиск землі разом з тимчасовим навантаженням на ній, щоб стався зсув підпірної стіни.

Результати. Запропонована методика перевірок стійкості підпірної стіни враховує міцність і деформацію основи і відповідає новому трактуванню коефіцієнта запасу.

Ключові слова: підпірна стінка, коефіцієнт запасу міцності, граничний стан, стійкість.

Настич О.Б., Хоруженко І.В. Совершенствование методов расчета и проектирования подпорных стен с учетом разделения на составные части коэффициентов запаса прочности

Цель. Целью данной работы является обобщение и уточнение основных методов проектирования и расчета подпорных стен. Важным в расчетах является учет коэффициентов запаса. Существующие методы недостаточно освещены

в современной учебно-технической литературе и, как правило, не находят должного отражения в курсах лекций по сопротивлению материалов и строительной механики, читаемые в технических вузах. Данная статья имеет целью восполнить этот пробел, что, в свою очередь, послужит рациональному конструированию подпорных стен, которые применяются при выявлении дефектов и повреждений зданий и сооружений, причиной которых является нестабильность основания.

Методы исследования. Существуют основные принципы расчета подпорных стен. Исходя из предельных состояний, должны быть сделаны следующие расчеты: на устойчивость к опрокидыванию; на устойчивость к смещению-скольжению; на прочность самой конструкции подпорной стены; на прочность грунта основания; на деформацию грунта основания; на трещиностойкость элементов конструкции.

Научная новизна. Актуальность данной работы связана с решением поставленной задачи. В статье проанализированы и исследованы публикации, где была применена новая методика проверок устойчивости подпорной стены, которая учитывает прочность и деформацию ее основы и соответствующей новой трактовке коэффициента запаса.

Практическая значимость. Наибольшую величину активного давления грунта при наличии на горизонтальной поверхности засыпки равномерно распределенной нагрузки необходимо определять при расположении этой нагрузки в пределах всей призмы обрушения, если нагрузка не имеет фиксированного положения. Проверочный расчет подпорной стены на устойчивость по методике единого коэффициента запаса сводится к вычислению коэффициента запаса как отношение удерживающей силы T_u до сдвиговой T_c . Коэффициент запаса устойчивости показывает, во сколько раз должно вырасти давление земли вместе с временной нагрузкой на ней, чтобы произошел сдвиг подпорной стены.

Результаты. Предложенная методика проверок устойчивости подпорной стены учитывает прочность и деформацию основания и соответствует новой трактовке коэффициента запаса.

Ключевые слова: подпорная стенка, коэффициент запаса прочности, предельное состояние, устойчивость.

Nastich O.B., Khoruzhenko I.V. Improvement of methods for calculating and designing retaining walls, taking into account the separation of the safety factor into components

Purpose. The purpose of this work is to generalize and refine the main methods of designing and calculating the retaining walls. The safety factors in the calculation is of great importance. Existing methods are not adequately covered in the modern educational and technical literature and, as a rule, do not find proper reflection in the courses of lectures on the resistance of materials and construction mechanics, read in technical universities. This article aims to fill this gap, which, in turn, will serve rational design of the retaining walls, which are used to identify defects and damage to buildings and structures caused by instability of the base.

Research methods. There are basic principles for calculating the retaining walls. Based on the limit states, the following calculations should be made: the stability to overturning; the resistance to displacement-slip; the strength of the design of the retaining wall; the strength of the ground base; the deformation of the ground base; the crack resistance of structural elements.

Scientific novelty. The relevance of this work is related to the solution of the problem. The article analyzes and studies publications, where a new technique of checking the stability of the retaining wall was applied, which takes into account the strength and deformation of its base and the corresponding new interpretation of the safety factor.

Practical significance. The greatest value of the active soil pressure when there is a backfill of a uniformly distributed load on the horizontal surface must be determined when this load is located within the entire collapse prism, if the load does not have a fixed position. The verification calculation of the retaining wall for stability by the method of a single safety factor reduces to calculating the safety factor as the ratio of the restraining force T_u to the shear T_c . The stability factor shows how many times the ground pressure should rise together with the temporary load on it so that the retaining wall shifts.

Results. The proposed technique for checking the stability of the retaining wall takes into account the strength and deformation of the base and corresponds to a new interpretation of the safety factor.

Keywords: retaining wall, safety factor, limiting state, stability.

УДК 004.925:622.27

Шолох М.В., Сергеева М.П. Моделювання характеристик об'ємно-якісних показників потоків залізородної маси кар'єрів і шахт

Мета. Метою даної роботи є розробка методу моделювання відособлених і взаємозалежних динамічних рядів об'ємно-якісних характеристик корисних копалин для прогнозування вмісту якісних показників залізістих кварцитів на дільницях родовища. Побудову моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічних рядів і використання базуємо на методах аналізу тимчасових рядів.

Методи дослідження. Моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин пов'язане з узагальненням методу для ізольованих рядів вмісту якісних показників корисних копалин. Один з них пов'язаний з побудовою адаптивних моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічного ряду вмісту якісних показників корисних копалин множинної регресії, інший – з побудовою дискретних лінійних моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак передаточних функцій та критерію стійкості, які основані на використанні ідеї метода Бокса-Дженкінса. Для моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин третього і більш високого порядку, використано алгоритм Марквардта, а для нелінійного методу – метод найменших квадратів.

Наукова новизна. Розглянуто приклади, для ілюстрації методики послідовних операцій ідентифікації моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак відособлених рядів вмісту якісних показників залізородної маси для дільниць родовищ Кривбасу, визначення центрованої постійної моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак і розрахунку прогнозних оцінок вмісту якісних показників корисних копалин. Запроєктовано рекомендації стосовно технології прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак окремих рівнів залізородних потоків з невеликими інтервалами дискретності.

Практична значимість. Рекомендовано методику моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин та методику побудови моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин, обмежуючись двома взаємозалежними рядами вмісту якісних показників корисних копалин.

Результати. Розглянуті моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак мають високі адаптивні властивості, високу точність прогнозування і можливість моделювання нестационарних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин, що досягнуто за рахунок ефективного статистичного аналізу інформації прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак окремих рівнів потоків залізорудної маси, які пов'язанні технологічними процесами з узагальненням методів прогнозування ізольованих рядів на взаємозалежні.

Ключові слова: родовище, залізисті кварцити, об'ємно-якісні показники, прогнозування, моделювання.

Шолох Н.В., Сергеева М.П. Моделирование характеристик объемно-качественных показателей потоков железорудного массы карьеров и шахт

Цель. Целью данной работы является разработка метода моделирования обособленных и взаимосвязанных динамических рядов объемно-качественных характеристик полезных ископаемых для прогнозирования содержания качественных показателей железистых кварцитов на участках месторождения. Построение моделей прогнозирования характеристик объемно-качественных признаков динамических рядов и использования базируем на методах анализа временных рядов.

Методы исследования. Моделирование взаимосвязанных динамических рядов содержания качественных показателей полезных ископаемых связано с обобщением метода для изолированных рядов содержания качественных показателей полезных ископаемых. Один из них связан с построением адаптивных моделей прогнозирования характеристик объемно-качественных признаков динамического ряда содержания качественных показателей полезных ископаемых множественной регрессии, другой – с построением дискретных линейных моделей прогнозирования характеристик объемно-качественных признаков передаточных функций и критерия устойчивости, которые основанные на использовании идеи метода Бокса-Дженкинса. Для моделей прогнозирования характеристик объемно-качественных признаков динамических рядов содержания качественных показателей полезных ископаемых третьего и более высокого порядка, использован алгоритм Марквардта, а для нелинейного метода – метод наименьших квадратов.

Научная новизна. Рассмотрены примеры, для иллюстрации методики последовательных операций идентификации моделей прогнозирования характеристик объемно-качественных признаков обособленных рядов содержания качественных показателей железорудной массы для участков месторождений Кривбасса, определение централизованной постоянной модели прогнозирования характеристик объемно-качественных признаков и расчета прогнозных оценок содержания качественных показателей полезных ископаемых. Запроектировано рекомендации по технологии прогнозирования характеристик объемно-качественных признаков отдельных уровней железорудных потоков с небольшими интервалами дискретности.

Практическая значимость. Рекомендовано методику моделирования взаимосвязанных динамических рядов содержания качественных показателей полезных ископаемых и методику построения моделей прогнозирования характеристик объемно-качественных признаков динамических рядов содержания качественных показателей полезных ископаемых, ограничиваясь двумя взаимосвязанными рядами содержания качественных показателей полезных ископаемых.

Результаты. Рассмотренные модели прогнозирования характеристик объемно-качественных признаков имеют высокие адаптивные свойства, высокую точность прогнозирования и возможность моделирования нестационарных динамических рядов содержания качественных показателей полезных ископаемых, достигнут за счет эффективного статистического анализа информации прогнозирования характеристик объемно-качественных признаков отдельных уровней потоков железорудной массы, связанные технологическими процессами с обобщением методов прогнозирования изолированных рядов на взаимосвязаны.

Ключевые слова: месторождение, железистые кварциты, объемно-качественные показатели, прогнозирование, моделирование.

Sholokh M.V., Sergeieva M.P. Simulation of the characteristics of volume-qualitative parameters of fluxes of iron ore in quarries and mines

The **purpose** of this work is to develop a method of simulation of isolated and interdependent dynamic series of volumetric-quality characteristics of minerals for predicting the content of qualitative indices of ferruginous quartzite at the field sites. Construction of models of prediction of characteristics of volume-qualitative features of dynamic series and use based on methods of analysis of time series.

Research methods. The simulation of interrelated dynamic rows of the content of qualitative indices of minerals is related to the generalization of the method for isolated rows of contents of qualitative indices of minerals. One of them is related to the construction of adaptive models for predicting the characteristics of the volume-quality features of the dynamic series of content of the qualitative indexes of the minerals of multiple regression, the other – with the construction of discrete linear models of prediction of the characteristics of the volume-quality features of the transfer functions and the stability criterion, which based on the use of Box-Jenkins' method. For models of prediction of the characteristics of the volume-qualitative features of dynamic rows of content of qualitative indices of minerals of the third and higher order, the Marquardt algorithm is used, and for the nonlinear method, the least squares method is used.

Scientific novelty. Examples illustrated the methodology of successive operations of identification of models for predicting the characteristics of the volume-quality features of separate rows of contents of the qualitative indexes of iron ore mass for the Kryvbas deposits, determination of the centered constant model of prediction of the characteristics of three-dimensional qualitative characteristics and the calculation of predictive evaluations of the contents of qualitative indices of useful fossil fuels The recommendations concerning the technology of forecasting the characteristics of volumetric-quality features of individual levels of iron ore streams with small intervals of discreteness are proposed.

Practical significance. The method of modeling of interrelated dynamic rows of content of qualitative indices of minerals and the method of constructing models for predicting the characteristics of the volume-qualitative features of dynamic rows of contents of qualitative indices of minerals are recommended, limited to two interrelated rows of contents of qualitative indices of minerals.

Results. The considered models of prediction of characteristics of volume-qualitative features have high adaptive properties, high accuracy of forecasting and the possibility of modeling non-stationary dynamic rows of contents of qualitative indices of minerals. It is achieved due to effective statistical analysis of information of prediction of characteristics of volume-quality characteristics of individual levels of iron ore flows masses, which are connected by technological processes with the generalization of the methods of prediction of isolated rows on interdependent ones.

Keywords: deposit, glandular quartzites, volume-qualitative indicators, forecasting, modeling.

УДК 621.771

Чубенко В.А, Хіноцька А.А. Підвищення ефективності процесів суміщення лиття-прокатування за рахунок збільшення швидкості кристалізації металу в машині безперервного лиття заготовок

Мета. Метою даної роботи є розробка шляхів підвищення ефективності процесів суміщення лиття-прокатування за рахунок утворення суспензійної розливки сталі в машині безперервного лиття заготовок для збільшення виходу металу.

Методи дослідження. Виконуються теоретичні та емпіричні дослідження, що ґрунтуються на основних фундаментальних положеннях теорії металознавства, термодинаміки, обробки металів тиском, математичної статистиці при обробці результатів емпіричних досліджень. Виконано аналіз існуючого стану суміщення процесів лиття-прокатування, де визначено його переваги та недоліки. Для підвищення ефективності виробництва за рахунок збільшення швидкість руху смуги за клітями прийнято рішення використовувати суспензійну розливку сталі у машині безперервного лиття заготовок. Для реалізації процесу суміщення лиття прокатування пропонується використовувати, в якості інокулятора, здрібнену стружку з такого ж матеріалу, що і виготовляється виріб. Інокулятор додається з бункерів у проміжний ківш разом з рідкою сталлю.

Наукова новизна. Визначено перспективи і сформульовані принципи суміщення процесів лиття-прокатування із застосуванням суспензійної розливки сталі, що дозволяє збільшити швидкість кристалізації металічного сплаву.

Практична значимість. Запропоновано спосіб виготовлення круглої сталі діаметром 30 мм з заготовок, що отримані на машині безперервного лиття з використанням суспензії, що забезпечує збільшення продуктивності виробництва.

Результати. Визначено швидкість виходу металічного сплаву з машині безперервного лиття заготовок та руху смуги за клітями в умовах суспензійної розливки сталі і порівняно з такими ж умовами без суспензії. Виявлено збільшення швидкості руху металу при використанні суспензійної розливки сталі на 12-17% в порівнянні з розливкою сталі без використання суспензії. Таке зростання швидкості руху металу відбувається через зменшення часу охолодження рідкої сталі в кристалізаторі машині безперервного лиття. Визначено, що якість металу при суспензійній розливці сталі не погіршується. Пропонується технологія дозволяє збільшити продуктивність процесу.

Ключові слова: суспензійна розливка сталі, машина безперервного лиття заготовок, кристалізація металічного сплаву, швидкість руху смуги, суміщення процесів лиття прокатування, продуктивність.

Чубенко В.А, Хиноцкая А.А. Повышение эффективности процессов совмещения литья-прокатки за счет увеличения скорости кристаллизации металла в машине непрерывного литья заготовок

Цель. Целью данной работы является разработка путей повышения эффективности процессов совмещения литья-прокатки за счет образования суспензионной разливки стали в машины непрерывного литья заготовок для увеличения выхода металла.

Методы исследования. Выполняются теоретические и эмпирические исследования, основанные на главных фундаментальных положениях теории металловедения, термодинамики, обработки металлов давлением, математической статистике при обработке результатов эмпирических исследований. Выполнен анализ существующего состояния совмещения процессов литья-прокатки, где определены его преимущества и недостатки. Для повышения эффективности производства продукции за счет увеличения скорости движения полосы по клетям принято решение использовать суспензионную разливку стали в машины непрерывного литья заготовок. Для реализации процесса совмещения литья прокатки предлагается использовать, в качестве инокулятора, измельченную стружку из такого же материала, что и изготавливается изделие. Инокулятор добавляется из бункеров в промежуточный ковш вместе с жидкой сталью.

Научная новизна. Определены перспективы и сформулированы принципы совмещения процессов литья-прокатки с применением суспензионной разливки стали, что позволяет увеличить скорость кристаллизации металлического сплава.

Практическая значимость. Предложено способ изготовления круглой стали диаметром 30 мм с заготовок, полученных на машине непрерывного литья с использованием суспензии, обеспечивает увеличение производительности производства.

Результаты. Определены скорость выхода металлического сплава с машины непрерывного литья заготовок и движения полосы по клетям в условиях суспензионной разливки стали и выполнено сравнение с такими же условиями без суспензии. Выведено, что происходит увеличение скорости движения металла при использовании суспензионной разливки стали на 12-17% по сравнению с разливки стали без применения суспензии. Такой рост скорости движения металла происходит из-за уменьшения времени затвердевания жидкой стали в кристаллизаторе машины непрерывного литья. Определено, что качество металла при суспензионной разливке стали не ухудшается. Предлагаемая технология позволяет увеличить производительность процесса.

Ключевые слова: суспензионная разливка стали, машина непрерывного литья заготовок, кристаллизация металлического сплава, скорость движения полосы, совмещение процессов литья прокатки, производительность.

Chubenko V.A., Khinotska A.A. Efficiency improvement of casting-rolling process through increased metal crystallization rate in the continuous casting machine

Purpose. To develop ways to improving the efficiency of casting and rolling by forming a slurry casting of steel in the continuous casting machines to increase the metal output

Methods of research. Theoretical and empirical studies based on the fundamental principles of the theory of metal science, thermodynamics, metal pressure treatment, mathematical statistics in the processing of empirical research results are being carried out. The existing combining processes of casting-rolling is analyzed, where its advantages and disadvantages are determined. To increase the efficiency of production by increasing the speed of the strip along the cages, it was decided to use slurry casting of steel into continuous casting machines. To realize the process of combined casting and rolling it is proposed to use shredded shavings of the product material as an inoculator. The inoculator is added from the hoppers to the intermediate ladle with the liquid steel.

Scientific novelty. Prospects are defined and the principles of combining the casting-rolling processes with the use of suspension casting of steel are formulated, which makes it possible to increase the crystallization rate of the metal alloy.

Practical significance. A method for manufacturing round steel with a diameter of 30 mm from blanks obtained by a continuous casting machine using a slurry is provided, which increases the production.

Results. The output of the metal alloy in the continuous casting machine and the motion of the strip along the cages during slurry casting of steel were determined and compared with the same conditions without suspension. It was found that the metal rate motion increases through the steel slurry casting by 12-17% compared to the casting of steel without slurry. Such an increase in the metal motion is due to the reduction in the solidification time of molten steel in the mold of a continuous casting machine. It is determined that the quality of the metal does not deteriorate during suspension casting of steel. The proposed technology allows to increase the productivity of the process.

Keywords: steel slurry casting, continuous casting machine, crystallization of metal alloy, strip speed, combining of casting processes, productivity.

УДК 658.38:621.1

Наливайко В.Г., Мовчан О.Г., Лосьєв К.В. Важность определения травмоопасности основных видов ремонтных работ на теплогенерирующих предприятиях

Цель. Целью данной работы является разработка способов повышения безопасности труда при эксплуатации и ремонтах теплотрасс и теплогенерирующего оборудования. Также необходимо определить наиболее травмоопасные виды работ и специальности работников предприятий теплоснабжения их выполняющие, предложив способы уменьшения аварийной производственной нагрузки на них. Уменьшение аварийных работ может быть достигнуто путем проведения профилактических работ на теплотрассах и теплогенерирующем оборудовании, сокращая при этом количество опасных работ, а так же трудовые и материальные затраты связанные с их выполнением.

Методы исследования. Исследования проводились с использованием математико-статистического метода экспертных оценок. Данный метод позволяет оперативно выявить наиболее проблемные и затратные работы предприятий теплоснабжения, возникающие как в процессе эксплуатации оборудования и теплотрасс, так и с внезапными аварийными ситуациями. Таким образом, можно определить перечень профилактических работ, которые должны быть выполнены в первую очередь.

Научная новизна. Исследования с использованием математико-статистического метода экспертных оценок позволят быстро определить проблемы при организации профилактических ремонтов на предприятиях теплоснабжения.

Практическая значимость. Полученные выводы по результатам исследований позволят разработать рекомендации по уменьшению количества аварийных работ на теплотрассах. Определив наиболее травмоопасные виды работ и специальности работников предприятий теплоснабжения, которые их выполняют, необходимо уменьшить производственную загрузку, связанную с аварийными работами через проведение профилактических работ на наиболее потенциально опасных аварийных участках.

Разработанные рекомендации на основе математико-статистического метода экспертных оценок позволят улучшить производство организационных работ по ликвидации аварийных участков теплотрасс и снизить количество аварийных работ, что в свою очередь, уменьшит заболеваемость работников предприятий теплоснабжения и повысит безопасность труда особенно в осенне-зимний период года, а также сократит экономические потери от ликвидации аварийных ситуаций и лечения заболевших работников теплогенерирующих предприятий.

Результаты. На основании профилактических графиков ремонтных работ можно составить первоочередность замены труб аварийных участков, что намного облегчит планирование ремонтных работ по замене аварийных участков трубопроводов. Наиболее травмоопасными работами являются газосварочные и электросварочные работы соответственно специальностями, их выполняющими, являются газосварщик и электросварщик. Условия их работы эксперты определяют как опасные и вредные.

Ключевые слова: экспертная оценка, математико-статистический метод экспертных оценок, баллы оценки.

Наливайко В.Г., Мовчан О.Г., Лосьєв К.В. Важливість визначення травмонезбезпечності основних видів ремонтних робіт на теплогенеруючих підприємствах

Мета. Метою даної роботи є розробка способів підвищення безпеки праці при експлуатації та ремонтах теплотрас і теплогенеруючого обладнання. Також необхідно визначити найбільш травмонезбезпечні види робіт і спеціальності працівників підприємств теплопостачання, запропонувавши способи зменшення аварійного виробничого навантаження на них. Зменшення аварійних робіт може бути досягнуто шляхом проведення профілактичних робіт на теплотрассах і теплогенеруючому обладнанні, скорочуючи при цьому кількість небезпечних робіт, а так само трудові та матеріальні витрати, які пов'язані з їх виконанням.

Методи дослідження. Дослідження проводилися з використанням математико-статистичного методу експертних оцінок. Даний метод дозволяє оперативно виявити найбільш проблемні та витратні роботи підприємств теплопостачання.

чання, котрі виникають як в процесі експлуатації обладнання і теплотрас, так і з раптовими аварійними ситуаціями. Таким чином, можна визначити перелік профілактичних робіт, які повинні бути виконані в першу чергу.

Наукова новизна. Дослідження з використанням математико-статистичного методу експертних оцінок дозволять швидко визначити проблеми при організації профілактичних ремонтів на підприємствах теплопостачання.

Практична значимість. Отримані висновки за результатами досліджень дозволять розробити рекомендації, щодо зменшення кількості аварійних робіт на теплотрасах. Визначивши найбільш травмонебезпечні види робіт і спеціальності працівників підприємств теплопостачання, які їх виконують, необхідно зменшити виробниче навантаження, яке пов'язане з аварійними роботами через проведення профілактичних робіт на найбільш потенційно небезпечних аварійних ділянках.

Розроблені рекомендації на основі математико-статистичного методу експертних оцінок дозволять поліпшити виробництво організаційних робіт по ліквідації аварійних ділянок теплотрас і знизити кількість аварійних робіт, що в свою чергу, зменшить захворюваність працівників підприємств теплопостачання та підвищить безпеку праці особливо в осінньо-зимовий період року, а також скоротить економічні втрати від ліквідації аварійних ситуацій і лікування хворих працівників теплогенеруючих підприємств.

Результати. На підставі профілактичних графіків ремонтних робіт можна скласти першочерговість заміни труб аварійних ділянок, що набагато полегшить планування ремонтних робіт по заміні аварійних ділянок трубопроводів. Найбільш травмонебезпечними роботами є газозварювальні і електрозварювальні роботи відповідно спеціальності, які їх виконують, є газозварник та електрозварник. Умови їх роботи експерти визначають як небезпечні і шкідливі.

Ключові слова: експертна оцінка, математико-статистичний метод експертних оцінок, бали оцінки.

Nalivaiko V.G., Movchan O.G., Losiev K.V. Importance of determining the injury of main repairing works at heat generating enterprises

Purpose is to develop the ways for improving work safety during the operation and repair of heating mains and heat generating equipment. To identify the most traumatic occupations of workers in heat supply enterprises.

Methods of research. The mathematical-statistical method of expert assessments was used in the research. This method allows you to quickly identify the most problematic and costly work of the enterprises in the operation of the equipment and heating mains, and in sudden emergency situations. Thus, the list of the urgent preventive works is determined.

Scientific novelty. The mathematical and statistical method of expert assessments enables to quickly identify problems in the organization of preventive repairs at the heat supply enterprises.

Practical significance. The research results make it possible to develop recommendations for reducing the number of emergency works on heating mains, as well as the production load associated with emergency work through the preventive maintenance at the most dangerous sites.

The developed recommendations allow you to improve the organizational works for the liquidation of emergency sections of heating mains, reduce the incidence of workers in heat supply enterprises and increase labor safety, especially in the autumn-winter period of the year, reduce economic losses from emergency situations and treatment of sick workers of heat-generating enterprises.

Results. Based on the preventive maintenance schedules, it is possible to prioritize the replacement of pipes of emergency areas, which will greatly facilitate the planning of repair works to replace the emergency sections of the pipelines. The most traumatic-safe works are gas-welding and electric welding works in accordance with the specialty that they perform. The conditions of their work are defined by experts as dangerous and harmful.

Keywords: expert evaluation, mathematical and statistical method of expert assessments, scores.

УДК 622.7: 658.562

Савицький О.І., Тимошенко М.А. Розробка мультиагентної системи керування трьохстадійним збагаченням залізної руди з застосуванням методів нечіткого

Мета. Метою даної роботи є обґрунтування використання методів нечіткого регулювання і мультиагентного керування для моделювання процесів збагачення залізної руди на ділянці секції збагачувальної фабрики. Складність, інерційність, нестационарність та динамічність технологічних процесів, що відбуваються на збагачувальній фабриці, наявність складних зв'язків та рециклів між технологічними механізмами обумовлюють застосування вищевказаних методів автоматизованого керування технологічними процесами.

Методи дослідження. Проведено аналіз сучасних методів та засобів моделювання процесів роботи технологічних механізмів. Особливу увагу приділено розподілені системам керування та доцільності їх використання у складному технологічному процесі для моделювання зв'язків між стадіями та створення математичної моделі секції збагачення. З метою моделювання роботи окремих стадій збагачення проаналізовано сучасні напрямки автоматизованого керування, їх переваги та недоліки стосовно застосування до вирішуваної проблеми.

Наукова новизна. Розв'язання поставленої задачі складає актуальність роботи. Її метою є обґрунтування вибору методів мультиагентного керування та нечіткого регулювання у порівнянні з класичним розподілені керуванням та іншими сучасними методами інтелектуального керування.

Практична значимість. Обґрунтовано застосування системи мультиагентного керування для моделювання інформаційних зв'язків між стадіями секції збагачувальної фабрики. Проаналізовано сучасні засоби інтелектуального керування стосовно моделювання роботи окремих технологічних механізмів – засоби нечіткої логіки, штучного інтелекту.

Результати. На основі проведеного аналізу було визначено, що класичні методи розподіленого керування не доцільно застосовувати до збагачувальних процесів. Мультиагентне керування дає змогу керувати процесами більш гнучко та досягнути автономності керування кожною стадією збагачення окремо. Для корекції керуючих впливів залежно від потреб стадії та вимог до отриманої якості кінцевого продукту доцільно застосовувати нечіткі регулятори з підтримкою їх роботи нечіткими базами знань та координуючою нейро-нечіткою мережею.

Ключові слова. Збагачення, залізна руда, автоматизація, мультиагентне керування, системний підхід, нечітка логіка.

Савицкий А.И., Тимошенко М.А. Разработка мультиагентной системы управления трехстадийным обогащением железной руды с применением методов нечеткого управления

Цель. Целью данной работы является обоснование использования методов нечеткого регулирования и мультиагентного управления для моделирования процессов обогащения железной руды на участке секции обогатительной фабрики. Сложность, инерционность, нестационарность и динамичность технологических процессов, происходящих на обогатительной фабрике, наличие сложных связей и рециклов между технологическими механизмами обуславливают применение вышеуказанных методов автоматизированного управления технологическими процессами.

Методы исследования. Проведен анализ современных методов и средств моделирования процессов работы технологических механизмов. Особое внимание уделено распределенным системам управления и целесообразности их использования в сложном технологическом процессе для моделирования связей между стадиями и создания математической модели секции обогащения. С целью моделирования работы отдельных стадий обогащения проанализированы современные направления автоматизированного управления, их преимущества и недостатки по применению касательно решаемой проблемы.

Научная новизна. Решение поставленной задачи составляет актуальность работы. Ее целью является обоснование выбора методов мультиагентного управления и нечеткого регулирования по сравнению с классическим распределенным управлением и другими современными методами интеллектуального управления.

Практическая значимость. Обосновано применение системы мультиагентного управления для моделирования информационных связей между стадиями секции обогатительной фабрики. Проанализированы современные средства интеллектуального управления относительно моделирования работы отдельных технологических механизмов - средства нечеткой логики, искусственного интеллекта.

Результаты. На основе проведенного анализа было определено, что классические методы распределенного управления нецелесообразно применять к обогатительным процессам. Мультиагентное управление позволяет управлять процессами более гибко и достичь автономности управления каждой стадией обогащения отдельно. Для коррекции управляющих воздействий в зависимости от потребностей стадии и требований к полученному качеству конечного продукта целесообразно применять нечеткие регуляторы с поддержкой их работы нечеткими базами знаний и координирующей нейро-нечеткой сети.

Ключевые слова. Обогащение, железная руда, автоматизация, мультиагентное управление, системный подход, нечеткая логика.

Savytskyi O.I., Tymoshenko M.A. Development of the multi-agent control system of a three-staged iron ore enrichment with use of fuzzy control method

Purpose. To justify the use of fuzzy control methods and multi-agent control for the simulation of the iron ore enrichment at the enrichment plant's section. The complexity, inertia, unsteadiness and dynamism of the technological processes at the enrichment plant, the presence of complex connections and recycling between the technological mechanisms determine the application of the automated control methods of technological processes.

Research methods. The modern methods and means of modeling technological mechanisms are analyzed. Particular attention is paid to distributed control systems and the feasibility of their use in a complex technological process for modeling connections between stages and creating of mathematical model of the enrichment section. In order to model the work of individual stages of enrichment, modern directions of automated control, their advantages and disadvantages are analyzed.

Scientific novelty. The choice of multi-agent control and fuzzy control methods in comparison with classical distributed control and other modern methods of intellectual control is substantiated.

Practical significance. The use of multi-agent control system for modeling of information communications between stages of the concentrating factory section is justified. Modern means of intellectual control concerning the modeling of certain technological mechanisms work including means of fuzzy logic and artificial intelligence are analyzed.

Results. On the basis of the analysis it was determined that classical methods of distributed control are not appropriate for the enrichment processes. Multi-agent control allows you to control processes more flexibly and monitor each stage of enrichment separately. In order to correct the control effects depending on the stage's needs and the requirements to quality of the final product, it is advisable to use fuzzy controllers to support their work by fuzzy knowledge and coordinating neuro-fuzzy network.

Keywords. Enrichment, iron ore, automation, multi-agent control, system approach, fuzzy logic.

УДК 504(075.8)

Часова Е. В., Демчишина О. В., Борисенко В.В., Лисенко В.І. Фотометричне визначення аніонних поверхнево-активних речовин

Постановка завдання. Поверхнево-активні речовини відносяться до особливої групи органічних забруднювачів навколишнього середовища. Тому контроль змісту ПАР у стічних водах Кривбасу є актуальним. Визначення аніонних поверхнево-активних речовин в природних водах м. Кривого Рогу проводилось з використанням акридінового жовтого в якості реагента в екстракційно-фотометричному методі.

Методи дослідження. Для фотометричного визначення аПАР готували розчин акридінового жовтого (концентрація $0,1 \text{ г/дм}^3$) розчиненням точної наважки в дистильованій воді. Для побудови градуовального графіку готували розчини аПАР (натрію додецилсульфату) щоденно з вихідного розчину аПАР (концентрація $0,1 \text{ г/дм}^3$). Всі реактиви мали марку «х.ч.» або «ч.д.а.». Рівень рН розчинів контролювали і необхідним чином підбирали, використовуючи рН-метр-мілівольтметр. Оптичну густину водних розчинів, органічних екстрактів градуовальних розчинів та проб води вимірювали на фотоколориметрі КФК-2, у кюветах з товщиною поглинаючого шару 1 см. Квантово-хімічне моделювання проводилось за допомогою неемпіричних методів програми WinGAMES. В якості розрахункового методу був обраний необмежений метод Хартрі-Фока, з використанням DFT-теорії. Для врахування сольватації використовувалася модель поляризаційного континууму.

Наукова новизна. Актуальним є використання акридінового жовтого, в якості нового реагента в екстракційно-фотометричному методі. Дослідження властивостей акридінового жовтого. Підтвердження квантово-хімічними розрахунками запропонований хімізм процесу іонізації молекули акридінового жовтого.

Практична значимість. Запропонована методика дозволить контролювати вміст аПАВ у стічних водах заводськими лабораторіями або лабораторіями очисних споруд.

Результати. Підібрано оптимальні умови та визначено вміст аніонних поверхнево-активних речовин в природних водах з акридіновим барвником. Встановлено вплив рН на водні розчини акридінового жовтого. Виміряна оптична густина органічних екстрактів та водних розчинів органічного барвника при довжині хвилі, яка відповідала максимальному значенню оптичної густини, $\lambda = 440$ нм. За допомогою градуовального графіка визначено концентрацію, яка знаходиться в межах ГДК, аПАВ у досліджуваній воді.

Ключові слова: аніонні поверхнево-активні речовини, акридіновий жовтий, екстракти.

Часова Э. В., Демчишина О. В, Борисенко В.В., Лисенко В.И. Фотометрическое определение анионных поверхностно-активных веществ

Постановка задачи. Поверхностно-активные вещества относятся к особой группе органических загрязнителей окружающей среды. Поэтому контроль содержания ПАВ в сточных водах Кривбасса является актуальным. Определение анионных поверхностно-активных веществ в природных водах г. Кривого Рога проводилось с использованием акридинового желтого в качестве реагента в экстракционно-фотометрическом методе.

Методы исследования. Для фотометрического определения аПАВ готовили раствор акридинового желтого (концентрация $0,1 \text{ г/дм}^3$) растворением точной навески в дистиллированной воде. Для построения градуировочного графика готовили растворы аПАВ (натрия додецилсульфата) ежедневно с исходного раствора аПАВ (концентрация $0,1 \text{ г/дм}^3$). Все реактивы имели марку «х.ч» или «ч.д.а.». Уровень рН растворов контролировали и необходимым образом подбирали, используя рН-метр-милливольтметр. Оптическую плотность водных растворов, органических экстрактов градуировочных растворов и пробы воды измеряли на фотоколориметре КФК-2, в кюветках с толщиной поглощающего слоя 1 см. Квантово-химическое моделирование проводилось с помощью неэмпирических методов программы WinGAMES. В качестве расчетного метода был выбран неограниченный метод Хартри-Фока, с использованием DFT-теории. Для учета сольватации использовалась модель поляризации континуума.

Научная новизна. Использование акридинового желтого, в качестве нового реагента в экстракционно-фотометрическом методе. Исследованы свойства акридинового желтого. Квантово-химическими расчетами подтвержден предложенный химизм процесса ионизации молекулы акридинового желтого.

Практическая значимость. Данная методика позволит контролировать содержание аПАВ в сточных водах заводскими лабораториями или лабораториями очистных сооружений.

Результаты. Подобраны оптимальные условия и определено содержание анионных поверхностно-активных веществ в природных водах с акридиновым красителем. Установлено влияние рН на водные растворы акридинового желтого. Измерена оптическая плотность органических экстрактов и водных растворов органического красителя при длине волны, которая соответствует максимальному значению оптической плотности, $\lambda = 440$ нм. С помощью градуировочного графика определена концентрация, которая находится в пределах ПДК аПАВ в исследуемой воде.

Chasova E. V., Demchyshyna O. V., Borysenko V.V., Lysenko V.I. Photometric determination of anionic surface-active agents

Problem statement. Surface-active agents belong to a special group of organic pollutants of the environment. Therefore, monitoring the content of agents in the wastewater of Kryvbas is relevant. Determination of anionic agents in natural waters of the city of Kryvyi Rih was carried out using acridine yellow as a reagent in an extraction-photometric method.

Methods of research. For the photometric determination of aSAA, a solution of acridine yellow (concentration 0.1 g/dm^3) was prepared by dissolving the exact sample in distilled water. To construct the calibration curve, solutions of aSAA (sodium dodecyl sulfate) were prepared daily from the initial solution of aSAA (concentration 0.1 g/dm^3). All reagents had the mark "C.P." or "A.R.". The pH level of the solutions was monitored and appropriately selected using a pH meter-millivoltmeter. The optical density of aqueous solutions, organic extracts of calibration solutions and water samples was measured on a KFK-2 photocolormeter in cuvettes with an absorbing layer thickness of 1 cm. Quantum-chemical modeling was carried out using non-empirical methods of the WinGAMES program. As calculation method, an unrestricted Hartree-Fock method was chosen, using the DFT theory. To account for solvation, the polarization continuum model was used.

Novelty. The use of acridine yellow, as a new reagent in the extraction-photometric method. The properties of acridine yellow are investigated. Quantum-chemical calculations confirmed the proposed chemistry of the process of ionization of the acridine yellow molecule.

Practical significance. This technique will allow to control the content of aSAA in wastewater from factory laboratories or laboratories of treatment facilities.

Findings. Optimum conditions were selected and the content of anionic surfactants in natural waters with acridine dye was determined. The effect of pH on aqueous solutions of acridine yellow is established. The optical density of organic extracts and aqueous solutions of organic dye was measured at a wavelength that corresponds to the maximum optical density, $\lambda = 440$ nm. With the help of the calibration curve, the concentration is determined, which is within the limits of the MAC of the aSAA in the studied water.

Keywords: anionic surface-active agents, acridine yellow, extracts.

УДК 622.016.52:622.34

Калініченко В.О., Письменний С.В., Бровко Д.В., Калініченко О.В. Моделювання стійкості штучних споруд при розробці залізних руд

Мета. Метою даної роботи є моделювання очисних камер різної форми на еквівалентних матеріалах при підземній розробці залізних руд Криворізького залізрудного басейну. З пониженням гірничих робіт навколо очисних камер зростає гірський тиск, який призводить до їх часткового обвалення, а як наслідок зниження вмісту корисного компо-

ненту в видобутій рудній масі. Теоретичними дослідженнями доведено, що очисні камери параболічної форми є більш стійкими у порівнянні з камерами прямокутної форми, але лабораторним дослідженням приділено не було достатньої уваги, щоб підтвердити дану теорію.

Методи дослідження. В процесі моделювання застосовували комплексний метод досліджень, який полягав з аналітичного визначення параметрів очисних камер та лабораторне моделювання з застосуванням еквівалентних матеріалів. Суттєвою відмінністю даних досліджень є те, що при виготовленні еквівалентного матеріалу враховували масштаб фактору часу.

Наукова новизна. Встановлено, що очисна камера параболічної форми у порівнянні з прямокутними збільшує свою стійкість в 1,1-1,5 рази. При цьому, на стійкість камери параболічної форми суттєво впливають радіуси вертикального та горизонтального оголень, які залежать від фізико-механічних властивостей гірського масиву.

Практична значимість. Для зменшення засмічення руди при її випуску з очисних камер, що призведе до підвищення вмісту корисного компонента в рудній масі, очисні камери доцільно формувати не прямокутної форми, а у вигляді параболи. Формування очисних камер параболічної форми при відпрацюванні магнетитових кварцитів дозволить зменшити ширину міжкамерних ціликів.

Результати. В лабораторних умовах на моделях з використанням еквівалентного матеріалу досліджували як впливає термін існування на стійкість очисних камер прямокутної, шатрової та склепистої форм. За результатами лабораторних досліджень встановлено, що раціональна форма очисної камери з умови її стійкості та терміну існування є параболічна. Достовірність результатів моделювання підтверджується високою збіжністю отриманих значень.

Ключові слова: очисна камера, стійкість, термін існування, моделювання, еквівалентний матеріал, підземна розробка, радіус оголення.

Калиниченко В.А., Письменный С.В., Бровко Д.В., Калиниченко Е.В. Моделирование устойчивости искусственных сооружений при разработке железных руд

Цель. Целью данной работы является моделирование очистных камер разной формы на эквивалентных материалах при подземной разработке железных руд Криворожского железорудного бассейна. С понижением горных работ вокруг очистных камер увеличивается горное давление, которое приводит к их частичному обрушению, а как следствие снижение содержания полезного компонента в добытой рудной массе. Теоретическими исследованиями доказано, что очистные камеры параболической формы являются более устойчивыми по сравнению с камерами прямоугольной формы, но лабораторным исследованием уделено не было достаточного внимания, чтобы подтвердить данную теорию.

Методы исследования. В процессе моделирования применяли комплексный метод исследований, который состоял из аналитического определения параметров очистных камер и лабораторное моделирование с применением эквивалентных материалов. Существенным отличием данных исследований является то, что при изготовлении эквивалентного материала учитывали масштаб фактора времени.

Научная новизна. Установлено, что очистительная камера параболической формы по сравнению с прямоугольными увеличивает свою устойчивость в 1,1-1,5 раза. При этом, на устойчивость камеры параболической формы существенно влияют радиусы вертикального и горизонтального обнажений, которые зависят от физико-механических свойств горного массива.

Практическая значимость. Для уменьшения засорения руды при её выпуске из очистных камер, приведёт к повышению содержания полезного компонента в рудной массе, очистные камеры целесообразно формироваться не прямоугольной формы, а в виде парабола. Формирование очистных камер параболической формы при отработке магнетитовых кварцитов до-изволит уменьшить ширину между камерных целиков.

Результаты. В лабораторных условиях на моделях с использованием эквивалентного материала исследовали как влияет время существования на устойчивость очистных камер прямоугольной параболической формы. По результатам лабораторных исследований установлено, что рациональная форма очистной камеры из условия её устойчивости и срока существования является параболическая. Достоверность результатов моделирования подтверждается высокой сходимостью полученных значений.

Ключевые слова: очистная камера, устойчивость, срок существования, моделирование, эквивалентный материал, подземная разработка, радиус обнажения.

Kalinichenko V.O., Pysmennyi S.V., Brovko D.V., Kalinichenko O.V. Modeling the stability of engineering structures in the mining process

Purpose. To simulate access chambers of different shapes of equivalent materials for underground ore mining in the Kryvyi Rih Basin. The mountain pressure is increased when deeping extractive operations around the access chambers, which leads to their partial collapse, hence, to the decrease in the content of the useful component of ore extracted. The theoretical studies have shown that the parabolic access chambers are more stable than rectangular ones, however, little attention has been paid to laboratory studies to corroborate this theory.

Methods of research. A comprehensive research method for analyzing the parameters of the access chambers and laboratory simulation using equivalent material were used. The essential difference between these studies is that the scale of the time factor was taken into account when manufacturing an equivalent material.

Scientific novelty. It has been established that the the parabolic access chamber in comparison with the rectangular one increases its stability by 1.1-1.5 times. Moreover, the stability of the parabolic chamber is significantly influenced by the radii of vertical and horizontal exposures, which depend on the physical and mechanical properties of the rock massif.

Practical significance. Reducing the clogging of ore during extraction from the access chambers results in increasing in the ore useful component, thus, the parabolic access chambers are reasonable. In designing parabolic chambers for magnetite quartzite extraction is required to reduce the width between chamber pillars.

Results. The time impact on the stability of rectangular/ parabolic access chambers made of equivalent material was investigated in laboratory. Laboratory studies have proved that the rational form of the access chamber due to the stability and operation life is parabolic. The reliability of the simulation results is confirmed by the high convergence

of the values obtained.

Keywords: purification chamber, stability, lifetime, modeling, equivalent material, underground development, radius of exposure.

УДК 681.5:621.867

Лобов В.Й., Лобова К.В. Теплові режими силових елементів перетворювача при керуванні асинхронним електродвигуном

Мета. Метою статті є визначення теплових режимів силових елементів перетворювача з урахуванням режимів роботи асинхронного електродвигуна і технічних вимог, що пред'являються до керування електроприводу робочого механізму. Розробити методику для визначення температури нагріву силових напівпровідникових елементів, що входять до складу перетворювача, при різних режимах роботи асинхронного електродвигуна та виконати моделювання його роботи асинхронного електродвигуна і перевірити експериментально отримані результати на адекватність.

Методи дослідження. Дається метод аналітичних розрахунків і фізичне моделювання теплових режимів силових елементів перетворювачів з урахуванням їх параметрів, номінального, пускового та гальмівного режимів роботи електродвигуна та електроприводу. Основним критерієм для розрахунку теплових режимів силових елементів перетворювача, який визначає граничне значення робочих параметрів силових резисторів і тиристорів резисторно-тиристорних модулів, є температура р-п переходу тиристора. Якщо значення цієї температури не перевищить максимально допустиму температуру напівпровідникової структури тиристора, він забезпечить надійну роботу керованого ним асинхронного електродвигуна.

Наукова новизна. Уперше запропоновано інженерну методику для визначення температури нагріву силових напівпровідникових елементів при різних режимах роботи асинхронного електродвигуна і електроприводу. Для систематизованого аналізу та отримання раціональних варіантів силових схем перетворювачів використано узагальнену схему управління асинхронним двигуном та її математичний опис. На основі розробленої інженерної методики узагальнена схема доповнена підпрограмою для розрахунку теплових параметрів силових напівпровідникових елементів перетворювачів. Це дало можливість ефективно використовувати при проведенні досліджень ЕОМ.

Практична значимість. У роботі виконано моделювання на ЕОМ роботи асинхронного електродвигуна при визначенні теплових характеристики силових елементів перетворювача і перевірено експериментально отримані результати на адекватність та встановлено, якщо знизити робочу температуру структури напівпровідникового приладу на 15 %, то інтенсивність відмов знизиться в два рази.

Результати. Визначено, що основним критерієм для вибору типу перетворювача для управління асинхронним електродвигуном є температура переходу силових напівпровідникових елементів. Значення цієї температури не повинно перевищувати гранично-допустиму температуру на переході напівпровідникового елемента. Запропоновано математичні вирази для визначення температури нагріву силових напівпровідникових елементів, що входять до складу перетворювача, при різних режимах роботи асинхронного електродвигуна. Інженерна методика для аналітичного розрахунку теплових параметрів напівпровідникових елементів із достатньою точністю (не більше 10%) дає можливість визначити тепловий режим напівпровідникових елементів перетворювачів залежно від режиму роботи електроприводу робочого механізму та обчислити максимальну - допустиму температуру в інтервалі робочого циклу. Отримані результати аналітичного розрахунку теплових режимів резисторів та тиристорного перетворювача, підтверджені експериментальними дослідженнями. Інженерна методика і експериментальні дослідження можуть бути використані при проектуванні та експлуатації перетворювачів для керування асинхронними електродвигунами в структурі електроприводів загальнопромислового використання.

Ключові слова: асинхронний електродвигун, перетворювач, силові елементи, резисторно-тиристорні модулі, тепловий режим, розрахунки.

Лобов В.И., Лобова К.В. Тепловые режимы силовых элементов преобразователя при управлении асинхронным электродвигателем

Цель. Целью статьи является определение тепловых режимов силовых элементов преобразователя с учетом режимов работы асинхронного электродвигателя и технических требований, предъявляемых к управлению электропривода рабочего механизма. Разработать методику для определения температуры нагрева силовых полупроводниковых элементов, входящих в состав преобразователя, при различных режимах работы асинхронного электродвигателя и выполнить моделирование его работы асинхронного электродвигателя и проверить экспериментально полученные результаты на адекватность.

Методы исследования. Дается метод аналитических расчетов и физическое моделирование тепловых режимов силовых элементов преобразователей с учетом их параметров, номинального, пускового и тормозного режимов работы электродвигателя и электропривода. Основным критерием для расчета тепловых режимов силовых элементов преобразователя, который определяет предельное значение рабочих параметров силовых резисторов и тиристорных резисторно-тиристорных модулей, является температура р-п перехода тиристора. Если значение этой температуры не превысит максимально допустимую температуру полупроводниковой структуры тиристора, он обеспечит надежную работу руководимого им асинхронного электродвигателя.

Научная новизна. Впервые предложено инженерную методику для определения температуры нагрева силовых элементов при различных режимах работы асинхронного электродвигателя и электропривода. Для систематизированного анализа и получения оптимальных вариантов силовых схем преобразователей использовано обобщенную схему управления асинхронным двигателем и ее математическое описание. На основе разработанной инженерной методики обобщенная схема дополнена подпрограммой для расчета тепловых параметров силовых полупроводниковых элементов преобразователей. Это позволило эффективно использовать при проведении исследований ЭВМ.

Практическая значимость. В работе выполнено моделирование на ЭВМ работы асинхронного электродвигателя при определении тепловых характеристики силовых элементов преобразователя и проверено экспериментально

полученные результаты на адекватность и установлено, если снизить рабочую температуру структуры полупроводникового прибора на 15%, то интенсивность отказов снизится в два раза.

Результаты. Определено, что основным критерием для выбора типа преобразователя для управления асинхронным электродвигателем является температура перехода силовых полупроводниковых элементов. Значение этой температуры не должно превышать предельно допустимую температуру на переходе полупроводниковых элементов, входящих в состав преобразователя, при различных режимах работы асинхронного электродвигателя. Инженерная методика для аналитического расчета тепловых параметров полупроводниковых элементов с достаточной точностью (не более 10%) дает возможность определить тепловой режим полупроводниковых элементов преобразователей в зависимости от режима работы электропривода рабочего механизма и вычислить максимальную - допустимую температуру в интервале рабочего цикла. Полученные результаты аналитического расчета тепловых режимов резисторов и тиристорного преобразователя, подтвержденные экспериментальными исследованиями. Инженерная методика и экспериментальные исследования могут быть использованы при проектировании и эксплуатации преобразователей для управления асинхронными электродвигателями в структуре электроприводов общепромышленного использования.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, преобразователь, силовые элементы, резисторно-тиристорные модули, тепловой режим, расчеты.

Lobov V.Y., Lobova K.V. Thermal regimes of power elements of the converter when controlling an asynchronous electric motor

Purpose. To determine the thermal regimes of the power elements of the converter, taking into account the operating modes of the asynchronous electric motor and the technical requirements for controlling the electric drive of the working mechanism. To develop a technique for determining the heating temperature of the power semiconductor elements that make up the converter, for different modes of operation of the asynchronous electric motor, and to simulate its operation of an asynchronous electric motor and verify the experimentally obtained results for adequacy.

Methods of research. The method of analytical calculations and physical modeling of thermal modes of power elements of converters taking into account their parameters, nominal, starting and braking modes of electric motor and electric drive operation is given. The main criterion for calculating the thermal regimes of the power elements of the converter, which determines the limiting value of the operating parameters of power resistors and thyristors of resistor-thyristor modules, is the temperature of the thyristor p-n junction. If the value of this temperature does not exceed the maximum permissible temperature of the semiconductor structure of the thyristor, it will ensure reliable operation of the asynchronous electric motor it controls.

Scientific novelty. For the first time, an engineering technique for determining the temperature of heating of power elements for various operating modes of an asynchronous electric motor and an electric drive is proposed. For a systematic analysis and obtaining optimal variants of power circuits of converters, a generalized control scheme for an asynchronous motor and its mathematical description are used. Based on the developed engineering methodology, the generalized scheme is supplemented with a subroutine for calculating the thermal parameters of the power semiconductor elements of the converters. This allowed to be used effectively in computer research.

Practical significance. The simulation of the operation of an induction motor in the determination of the thermal characteristics of the power elements of the converter was performed and the experimentally obtained results were verified for adequacy and established if the operating temperature of the semiconductor device is reduced by 15%, then the failure rate will be reduced by half.

Results. It is determined that the main criterion for choosing a converter type for controlling an asynchronous electric motor is the transition temperature of power semiconductor elements. The value of this temperature should not exceed the maximum permissible temperature at the transition of the semiconductor element. Mathematical expressions are proposed for determining the heating temperature of power semiconductor elements that are part of the converter under various operating conditions of an asynchronous electric motor. The engineering method for the analytical calculation of the thermal parameters of semiconductor elements with sufficient accuracy (no more than 10%) makes it possible to determine the thermal state of the semiconductor elements of the converters, depending on the operating mode of the electric drive of the working mechanism and calculate the maximum permissible temperature in the interval of the operating cycle. The results of an analytical calculation of the thermal conditions of resistors and a thyristor converter, confirmed by experimental studies. Engineering methods and experimental studies can be used in the design and operation of converters for the control of asynchronous electric motors in the structure of electric drives for general industrial use.

Keywords: asynchronous electric motor, converter, power elements, resistor-thyristor modules, thermal mode, calculations.

УДК 622.013:622.34-047.44:622.27

Шолох М.В. Вплив втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин на процес усереднення

Мета. Метою даної роботи є розробка методу маркшейдерського забезпечення визначення втрат балансово-промислових запасів, збіднення вмісту якісних показників корисних копалин і величин впливу на однорідність якісних показників залізородної маси.

Методи дослідження. Розглянуто питання, як однорідність якісних характеристик складових залізородної маси пов'язана із втратами балансово-промислових запасів і збідненням вмісту якісних показників корисних копалин. Формування кожного з одиничних потоків відбувається під впливом втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин. Виконано розрахунки характеристик усереднення вмісту якісних показників одиничних потоків залізородної маси.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Отримано вираз, що показує, яким чином пов'язані між собою ознаки, які характеризують процеси усереднення вмісту якісних показників корисних копалин, втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин при роботі видобув-

ної одиниці. При роботі окремої видобувної одиниці кількість і якість видобутої залізорудної маси, втрачених балансово-промислових запасів, кількість розубожуючих порід і вміст якісних показників усередненого заліза, пов'язаного з магнетитом, розглядаємо як випадкові процеси і для характеристики використовуємо математичний апарат теорії випадкових кореляційних функцій.

Практична значимість. При розрахунках показників однорідності якісних складових залізорудної маси при експлуатації гірничовидобувних підприємств враховано вплив втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин на процес усереднення вмісту якісних показників корисних копалин. З урахуванням гірничо-геологічних умов видобутку зробити оцінку впливу втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин на однорідність якісного складу одиничного потоку залізорудної маси.

Результати. Виконано моделювання кількісних і якісних характеристик показників корисних копалин відособлених і взаємозалежних динамічних рядів для прогнозування якісних показників Криворізького родовища залізистих кварцитів. Доведено, що однорідність якісних характеристик складових загально рудничного потоку залізорудної маси залежить від однорідності одиничних потоків, що надходять із забоїв окремих видобувних одиниць. Розглянуто методику моделювання кількісних і якісних характеристик показників корисних копалин дільниць залізистих кварцитів стосовно технології прогнозування з невеликими інтервалами дискретності.

Ключові слова: родовище, запаси, корисні копалини, якісні показники, збіднення, усереднення, втрати.

Шолох Н.В. Влияние потерь балансово-промышленных запасов и обеднение содержания качественных показателей полезных ископаемых на процесс усреднения

Цель. Целью данной работы является разработка метода маркшейдерского обеспечения определения потерь балансово-промышленных запасов, обеднение содержания качественных показателей полезных ископаемых и величин влияния на однородность качественных показателей железорудной массы.

Методы исследования. Рассмотрены вопросы, как однородность качественных характеристик составляющих железорудной массы связана с потерями балансово-промышленных запасов и обеднением содержания качественных показателей полезных ископаемых. Формирование каждого из единичных потоков происходит под влиянием потерь балансово-промышленных запасов и обеднение содержания качественных показателей полезных ископаемых. Выполнены расчеты характеристик усреднения содержания качественных показателей единичных потоков железорудной массы.

Научная новизна. Решение данной задачи составляет актуальность работы. Полученное выражение, показывает, каким образом связаны между собой признаки, характеризующие процессы усреднения содержания качественных показателей полезных ископаемых, потерь балансово-промышленных запасов и обеднение содержания качественных показателей полезных ископаемых при работе добывающей единицы. При работе отдельной добывающей единицы количество и качество добываемой железорудной массы, потерянных балансово-промышленных запасов, количество засоряющих пород и содержание качественных показателей усредненного железа, связанного с магнетитом, рассматриваем как случайные процессы и для характеристики используем математический аппарат теории случайных корреляционных функций.

Практическая значимость. При расчетах показателей однородности качественных составляющих железорудной массы при эксплуатации горнодобывающих предприятий учтено влияние потерь балансово-промышленных запасов и обеднение содержания качественных показателей полезных ископаемых на процесс усреднения содержания качественных показателей полезных ископаемых. С учетом горно-геологических условий добычи сделать оценку влияния потерь балансово-промышленных запасов и обеднение содержания качественных показателей полезных ископаемых на однородность качественного состава единичного потока железорудной массы.

Результаты. Выполнено моделирование количественных и качественных характеристик показателей полезных ископаемых обособленных и взаимосвязанных динамических рядов для прогнозирования качественных показателей Криворожского месторождения железистых кварцитов. Доказано, что однородность качественных характеристик составляющих общий рудничный поток железорудной массы зависит от однородности единичных потоков, поступающих из забоев отдельных добывающих единиц. Рассмотрена методика моделирования количественных и качественных характеристик показателей полезных ископаемых участков железистых кварцитов относительно технологии прогнозирования с небольшими интервалами дискретности.

Ключевые слова: месторождение, запасы, полезные ископаемые, качественные показатели, обеднение, усреднение, потери.

Sholokh M.V. The effect of losses of balance-industrial stocks and impoverishment of the content of qualitative indices of minerals on the process of averaging

Purpose. To develop a method of surveying to determine the loss of balance-industrial stocks, depletion of the content of quality indicators of minerals and the magnitude of influence on the homogeneity of qualitative indicators of iron ore.

Research methods. The question is considered as the uniformity of the qualitative characteristics of the constituents of the iron ore mass due to losses of balance-industrial stocks and the depletion of the content of qualitative indices of minerals. The formation of each of the individual flows occurs under the influence of losses of balance-industrial stocks and impoverishment of the content of qualitative indices of minerals. The calculations of the characteristics of the averaging of the contents of the qualitative indices of individual streams of iron ore mass are executed.

Scientific novelty. The solution to this problem is the relevance of the work. An expression has been obtained that shows how the features that characterize processes of averaging of the content of qualitative indices of minerals, losses of balance-industrial stocks and impoverishment of the content of qualitative indices of minerals in the operation of the mining unit are interrelated. When working on a separate extractive unit, the quantity and quality of the extracted iron ore mass, lost balance-industrial stocks, the number of deceitful rocks and the content of qualitative indices of the average iron associated with magnetite are regarded as random processes and for the characterization we use the mathematical apparatus of the theory of random correlation functions.

Practical significance. In calculating the indicators of homogeneity of qualitative components of iron ore in the operation of mining enterprises, the effect of losses of balance-industrial stocks and impoverishment of the content of qualitative indices of minerals on the process of averaging of the content of qualitative indices of minerals has been taken into account. Taking into account the mining-geological mining conditions, to make an assessment of the impact of losses of balance-industrial stocks and impoverishment of the content of qualitative indices of minerals on the homogeneity of the qualitative composition of a single stream of iron ore mass.

Results. The simulation of quantitative and qualitative characteristics of indices of minerals of isolated and interrelated dynamic series for prediction of qualitative parameters of Kryvyi Rih deposit of ferruginous quartzites is executed. It is proved that the homogeneity of the qualitative characteristics of the components of the general miner flow of iron-ore mass depends on the homogeneity of the individual streams coming from the faces of individual extractive units. The method of modeling of quantitative and qualitative characteristics of indicators of minerals of glandular quartzite sections in relation to prognostication technology with small intervals of discreteness is considered.

Keywords: deposit, reserves, minerals, qualitative indicators, impoverishment, averaging, losses.

УДК 624.042.7

Валовой О.І., Охрімчук В.Л., Валовой М.О. Створення розрахункової моделі протяжної кам'яної будівлі для визначення зусиль при сейсмічних впливах

Мета. Дослідження питання сейсмостійкості існуючих споруд. Будівель великої протяжності в плані зі стінами з кам'яної кладки. Їх архітектурно-конструктивні й експлуатаційні особливості передбачають високий ризик значних пошкоджень при виникненні сейсмічного впливу. Недостатність знань про поведінку протяжних кам'яних будівель під дією сейсмічного навантаження та відсутність чіткого алгоритму їх розрахунку на сейсмостійкість зумовили необхідність проведення досліджень уякі цьому напрямку.

Методи досліджень. Створення універсальної моделі характерної протяжної кам'яної будівлі для подальших розрахункових досліджень на сейсмічні впливи і встановлення закономірностей напружено-деформованого стану.

Наукова новизна полягає в отриманні коректної моделі визначеного виду споруд із урахуванням особливостей, які мають велике значення для відтворення картини сейсмічного впливу.

Практична значимість. Для досягнення поставленої мети було використано дані натурних обстежень, виконали автори в ході дослідження проблеми. Шляхом аналізу й систематизації архітектурно-конструктивних рішень групи обстежених споруд було виділено спільні характеристики, властиві для таких будівель, які склали основу для створення розрахункової моделі. Моделювання виконано у програмних комплексах «МОНОМАХ-САПР» та «ЛІРА-САПР», що дозволяє одержати результати високої точності.

Результати. Створена основа для подальших розрахункових досліджень, що дають можливість виконати розрахунок на дію сейсмічного навантаження та оцінити дійсну роботу конструкцій протяжних кам'яних будівель. Наступним завданням у даному напрямку є встановлення закономірностей напружено-деформованого стану споруд. Це дозволить створити єдину методіку розрахунку протяжних кам'яних будівель на сейсмостійкість і застосовувати одержані результати для розв'язання практичних задач. Перш за все тих, які спрямовані на розроблення комплексу ефективних організаційно-будівельних заходів із підготовки будівель до сприйняття сейсмічного навантаження та приведення відповідно до чинних будівельних норм.

Ключові слова: сейсмостійкість, навантаження, розрахункова модель, кам'яна кладка, протяжність, підсилення.

Валовой А.И., Охримчук В.Л., Валовой М.А. Создание расчетной модели протяженного каменного здания для определения усилия при сейсмическом воздействии

Цель. Исследование вопроса сейсмостойкости существующих сооружений. Зданий большой протяженности в плане со стенами из каменной кладки. Их архитектурно-конструктивные и эксплуатационные особенности предусматривают высокий риск значительных повреждений при возникновении сейсмического воздействия. Недостаточность знаний о поведении протяженных каменных зданий под действием сейсмической нагрузки и отсутствие четкого алгоритма их расчета на сейсмостойкость обусловили необходимость проведения исследований в этом направлении.

Методы исследований. Создание универсальной модели характерной протяженной каменного здания для дальнейших расчетных исследований на сейсмические воздействия и установления закономерностей напряженно-деформированного состояния.

Научная новизна заключается в получении корректной модели определенного вида сооружений с учетом особенностей, которые имеют большое значение для воссоздания картины сейсмического воздействия.

Практическая значимость. Для достижения поставленной цели были использованы данные натурных обследований, выполненных авторами в ходе исследования проблемы. Путем анализа и систематизации архитектурно-конструктивных решений группы обследованных сооружений было выделено общие характеристики, свойственные для таких зданий, которые составили основу для создания расчетной модели. Моделирование выполнено в программных комплексах «МОНОМАХ-САПР» и «ЛІРА-САПР», что позволяет получить результаты высокой точности.

Результаты. Создана основа для дальнейших расчетных исследований, дают возможность выполнить расчет на действие сейсмических нагрузок и оценить действительную работу конструкций протяженных каменных зданий. Следующей задачей в данном направлении является установление закономерностей напряженно-деформированного состояния сооружений. Это позволит создать единую методіку расчета протяженных каменных зданий на сейсмостойкость и применять полученные результаты для решения практических задач. Прежде всего тех, которые направлены на разработку комплекса эффективных организационно-строительных мероприятий по подготовке зданий к восприятию сейсмической нагрузки и приведение в соответствие с действующими строительными нормами.

Ключевые слова: сейсмостойкость, нагрузки, расчетная модель, каменная кладка, протяженность, усиления.

Valovoi O.I., Okhrimchuk V.L., Valovoi M.O. Calculation model of the extended masonry building to determine the forces under the seismic effects

Purpose. The article discusses the issue of existing buildings' seismic resistance. Namely, it considers the earthquake resistance of the extended buildings with the masonry walls is considered. Their architectural design and operational features provide a high risk of significant damage during the occurrence of seismic effects. The lack of knowledge about the behaviour of extended masonry buildings under the action of seismic loads and the lack of clear algorithm of seismic stability calculation has led to the necessity for research in this direction.

Research methods. The aim of the work described in this article was the working out a universal model of the extended masonry building for further computational studies on seismic effects and the establishment of regularities of stress-strain state.

Academic novelty. Obtaining a valid model of a certain type of construction taking into account features which are of great importance to reconstruct the seismic impact.

Practical implications. To achieve this purpose field observation data was used carried out by the authors while studying the problem. Through analysis and systematization of architectural-constructive decisions of the group of surveyed buildings it was allocated to general characteristics inherent in these buildings, which formed the basis for the creation of the calculation model. The simulation is performed in the software complex "MONOMAKH-SAPR" and "LIRA-SAPR", which allows obtaining the results of high accuracy.

Results. The results obtained in the course of the work provide the basis for further computational studies, which allow to calculate the effects of seismic loads and to evaluate the actual work of designs of the extended masonry buildings. The further task in this direction is the establishment of regularities of stress-strain state of structures. This will create a uniform method of calculating long, of stone buildings in earthquake resistance and apply the results to solve practical problems. First of all those which are aimed at the development of a set of effective organizational and construction activities for the preparation of buildings for the perception of seismic loads and compliance with applicable construction standards.

Keywords: seismic resistance, load, calculation model, masonry, length, strengthening.

УДК 519.6:004.8

Рибальченко О.Г., Шаповалова Н.Н., Білашенко С.В. Багатопотокові обчислення в оптимізації функціоналу якості моделей машинного навчання методом імітації відпалу

Мета. Вивчення можливостей реалізації багатопотокових обчислень для алгоритму знаходження глобального мінімуму багатовимірної цільової функції, заснованого на стохастичному методі імітації відпалу, з метою оптимізації функціоналу якості моделей машинного навчання, вибір оптимальних значень параметрів застосування алгоритму для різних наявних обчислювальних потужностей, розроблення рекомендацій до застосування багатопотокових обчислень за певних початкових умов задачі багатовимірної оптимізації.

Методи. Використано числовий експеримент задачі паралельної оптимізації оціночного функціоналу якості моделей машинного навчання з розподіленням навчальної вибірки при різному розмірі пулу потоків, на вибірках різного розміру, для гладкої та негладкої оптимізаційних функцій.

Наукова новизна. Досліджена можливість використання багатопотокових обчислень з розподіленням навчальної вибірки при реалізації алгоритму знаходження глобального мінімуму багатовимірної цільової функції, заснованого на стохастичному методі імітації відпалу, та доцільність їх застосування до різних типів оптимізаційних функцій у машинному навчанні, вивчена закономірність зміни показника прискорення паралельних алгоритмів для різних обчислювальних потужностей.

Практична значимість виконаної роботи полягає в обґрунтуванні доцільності застосування багатопотокових обчислень з розподіленням навчальної вибірки при реалізації алгоритму імітації відпалу для оптимізації негладких цільових функцій. Емпірично знайдено оптимальні значення параметрів проведення експерименту для наявних обчислювальних ресурсів, що дозволяє значно збільшити швидкість виконання завдання мінімізації функції помилок регресійної моделі за критеріями середньоквадратичного відхилення.

Результати. Розроблено бібліотеку `opti_methods` методів багатовимірної оптимізації оціночного функціоналу якості моделей задач машинного навчання для мови програмування Python 3, реалізоване розподілення навчальної вибірки для різного розміру пулу потоків, знайдено оптимальні значення параметрів проведення експерименту для наявних обчислювальних ресурсів. Показано, що запропонований паралельний варіант алгоритму оптимізації методом імітації відпалу за схемою больцманівського гасіння може ефективно застосовуватися для вирішення завдань пошуку глобального мінімуму багатовимірної цільової функції.

Ключові слова: багатопотокові обчислення, показник прискорення, цільова функція, оптимізація, машинне навчання, функціонал якості, алгоритм імітації відпалу, градієнтний метод.

Рыбальченко Е.Г., Шаповалова Н.Н., Биляшенко С.В. Многопоточные вычисления в оптимизации функционала качества моделей машинного обучения методом имитации отжига

Цель. Изучение возможностей реализации многопоточных вычислений для алгоритма нахождения глобального минимума многомерной целевой функции, основанного на стохастическом методе имитации отжига, с целью оптимизации функционала качества моделей машинного обучения, выбор оптимальных значений параметров применения алгоритма для разных вычислительных мощностей, разработка рекомендаций по применению многопоточных вычислений при разных начальных условиях задачи многомерной оптимизации.

Методы. Использован числовой эксперимент задачи параллельной оптимизации оценочного функционала качества моделей машинного обучения с разбиением учебной выборки при разном размере пула потоков, на выборках разного размера, для различного вида оптимизационных функций.

Научная новизна. Исследована возможность использования многопоточных вычислений с разбиением учебной выборки при реализации алгоритма нахождения глобального минимума многомерной целевой функции, основанного на стохастическом методе имитации отжига, и целесообразность их применения к разным типам оптимизационных функций в машинном обучении, изучена закономерность изменения показателя ускорения параллельных алгоритмов для разных вычислительных мощностей.

Практическая значимость выполненной работы состоит в обосновании целесообразности применения многопоточных вычислений с разбиением учебной выборки при реализации алгоритма имитации отжига для оптимизации негладких целевых функций. Эмпирически найдены оптимальные значения параметров проведения эксперимента для предоставленных вычислительных мощностей, что позволяет значительно увеличить скорость выполнения задачи минимизации функции ошибок регрессионной модели по критериям среднеквадратического отклонения.

Результаты. Разработана библиотека `opti_methods` методов многомерной оптимизации оценочного функционала качества моделей задач машинного обучения для языка программирования Python 3, реализовано разбиение учебной выборки для разного размера пула потоков, найдены оптимальные значения параметров проведения экспериментов для предоставленных вычислительных мощностей. Показано, что предложенный параллельный вариант алгоритма оптимизации методом отжига по схеме Больцмановского гашения может эффективно применяться для решения задач поиска глобального минимума многомерной целевой функции.

Ключевые слова: многопоточные вычисления, показатель ускорения, целевая функция, оптимизация, машинное обучение, функционал качества, алгоритм имитации отжига, градиентный метод.

Rybalchenko O.N., Shapovalova N.N., Bilashenko S.V. Multithreaded calculations usage for optimization of machine learning models using simulated annealing algorithm

Purpose. Research of possible usage of multithreaded calculation for an algorithm finding global numerically minimum of a multidimensional cost function based on stochastic method of simulated annealing with an aim of improving quality of machine learning models; selection of optimal algorithm usage parameters to be used in various conditions with various computing power available; development of multithreaded calculations usage recommendations in case of multidimensional mathematical optimization problems with pre-defined parameters.

Methods of research. A numerical experiment for a problem of parallel optimization of machine learning models quality with a distribution of training samples was run with different thread pool sizes, with different training samples sizes, for smooth and non-smooth cost functions.

Scientific novelty. Researched possible usage of multithreaded calculations for the implementation of an algorithm finding global numeric minimum of a multidimensional cost function based on stochastic method of simulated annealing. Compared the effectiveness of such calculations for usage with different cost function types used in machine learning. Analyzed the effectiveness of such calculations depending on different calculation power available.

Practical value of the work performed is in substantiation of effectiveness of using multithreaded calculations with distribution of training samples for implementation of simulated annealing algorithm for optimization of non-smooth cost functions. Optimized parameter values were found after the experiment run which may be used to drastically improve the speed of solving the problem of regression model error minimization based on average squared deviation.

Results. Library `opti_methods` contains methods of multidimensional optimization of evaluating quality of machine learning models implemented with Python 3 language. A specialized function to distribute the training samples across multiple threads was developed along with a function to calculate optimal numeric experiment parameter values. It was demonstrated that proposed parallel optimization algorithm of simulated annealing may be effectively used for solving multidimensional cost function minimization problems.

Keywords: multithreaded calculation, acceleration factor, cost function, optimization, machine learning, quality function, simulated annealing method, gradient method.

УДК 624.153.524

Тімченко Р. О., Крішко Д. А., Савенко В.О., Хоруженко І.В. Особливості виготовлення фізичних моделей конструкцій (підпірних стін та фундаментів-оболонки) із застосуванням сучасних технологій

Мета. Проектування оптимальних конструктивних рішень з урахуванням конкретних умов експлуатації одна з головних інженерних задач. Для підпірних стін, застосовуваних на підроблюваних територіях з горизонтальними і вертикальними переміщеннями ґрунту, це завдання є особливо важливою. На сучасному етапі фундаментобудування виникає необхідність розробки більш прогресивних конструкцій фундаментів, які будуть більш економічні, технологічно досконаліші, здатні бути використані в складних інженерно-геологічних умовах. До таких фундаментів відносяться багатохвильові фундаменти-оболонки, різноманітні за формою, умовами роботи та сферою використання. Метою дослідження є визначення найбільш оптимального конструктивного рішення фундаменту під опори ліній електропередач (ЛЕП), що використовують на водонасичених, болотистих та слабких ґрунтах.

Методи дослідження. Теоретичною основою для моделювання методом еквівалентних матеріалів служить вчення про подібність, яке є науковим методом постановки експерименту, обробки його результатів і поширення цих результатів на натуральні явища. Три теореми теорії подібності дозволяють проаналізувати рівняння, що описують натуральний і модельний процес, вивести умови моделювання у вигляді критеріїв подібності і вибрати масштабні коефіцієнти (константи подібності).

Наукова новизна. Актуальність даної роботи пов'язана із розв'язанням поставленої задачі. Її результатом є визначення оптимальних інженерних рішень з моделювання і виготовлення фізичних моделей підпірних стін та фундаментів-оболонки для подальшого їх застосування в лоткових випробуваннях згідно із положеннями теорії планування експерименту.

Практична значимість. Фізичне моделювання дозволяє розробнику створювати моделі, які можуть бути використані багаторазово і спільно з іншими інженерами. Можливість імпортувати дані і моделі з інших середовищ розробки допомагає забезпечити точність моделей. Завдяки інтеграції цих моделей з алгоритмами управління і обробки сигналів розробник може перевірити помилки інтеграції на початку процесу проектування.

Результати. Використовуючи положення теорії подібності, були виготовлені фізичні моделі підпірних стін і фундаментів-оболонки, що мають характеристики жорсткості та міцності відповідні натурним конструкціям. Надалі це дозволить вивчити процес контактної взаємодії цих конструкцій та деформованої основи, а також отримати математичні закономірності їх спільної роботи.

Ключові слова: складчастий фундамент, підпірна стіна спеціального типу, фізичні моделі, теорія подібності.

Тимченко Р. А. , Кришко Д. А. , Савенко В.О., Хоруженко И.В. Особенности изготовления физических моделей конструкций (подпорных стен и фундаментов-оболочек) с применением современных технологий

Цель. Проектирование оптимальных конструктивных решений с учетом конкретных условий эксплуатации одна из главных инженерных задач. Для подпорных стен, применяемых на подрабатываемых территориях с горизонтальными и вертикальными перемещениями грунта, эта задача является особенно важной. На современном этапе фундаментостроения возникает необходимость разработки более прогрессивных конструкций фундаментов, которые будут более экономичны, технологически совершенные, способные быть использованы в сложных инженерно-геологических условиях. К таким фундаментам относятся многоволновые фундаменты-оболочки, разнообразные по форме, условиями работы и сфере использования. Целью исследования является определение наиболее оптимального конструктивного решения фундамента под опоры линий электропередач (ЛЭП), что используют на водонасыщенных, болотистых и слабых грунтах.

Методы исследования. Теоретической основой для моделирования методом эквивалентных материалов служит учение о сходстве, которое является научным методом постановки эксперимента, обработки его результатов и распространение этих результатов на натуральные явления. Три теоремы теории подобия позволяют проанализировать уравнения, описывающие натурный и модельный процесс, вывести условия моделирования в виде критериев подобия и выбрать масштабные коэффициенты (константы подобия).

Научная новизна. Актуальность данной работы связана с решением поставленной задачи. Ею результатом является определение оптимальных инженерных решений по моделированию и изготовлению физических моделей подпорных стен и фундаментов-оболочек для дальнейшего их применения в лотковых испытаниях согласно положениям теории планирования эксперимента.

Практическая значимость. Физическое моделирование позволяет разработчику создавать модели, которые могут быть использованы многократно и совместно с другими инженерами. Возможность импортировать данные и модели из других сред разработки помогает обеспечить точность моделей. Благодаря интеграции этих моделей с алгоритмами управления и обработки сигналов разработчик может проверить ошибки интеграции в начале процесса проектирования.

Результаты. Используя положения теории подобия, были изготовлены физические модели подпорных стен и фундаментов-оболочек, имеющих характеристики жесткости и прочности соответствующие натурным конструкциям. В дальнейшем это позволит изучить процесс контактного взаимодействия этих конструкций и деформируемого основания, а также получить математические закономерности их совместной работы.

Ключевые слова: складчатый фундамент, подпорная стена специального типа, физические модели, теория подобия.

Timchenko R.A., Krishko D.A., Savenko V.O., Khoruzhenko I.V. Manufacturing features of physical models of structures (retaining walls and shells foundation) with the use of modern technologies

Purpose. Designing of optimal design solutions, taking into account specific operating conditions, is one of the main engineering tasks. This task is especially important for the retaining walls used in the work areas with horizontal and vertical ground movements. At the present stage of foundation engineering, there is a need to develop more advanced foundation designs that will be more economical, technologically advanced, capable of being used in complex engineering and geological conditions. Such foundations include multi-wave shell-bases, various in form, operating conditions and sphere of use. The purpose of the study is to determine the most optimal design solution for the foundation of power transmission lines, which is used for water-saturated, swampy and weak soils.

Research methods. The theoretical basis for modeling by the method of equivalent materials is the doctrine of similarity, which is a scientific method for setting up an experiment, processing its results, and extending these results to natural phenomena. Three theorems of the similarity theory allow analyzing the equations describing the full-scale and model process, derive the simulation conditions in the form of similarity criteria, and select the scaling coefficients (similarity constants).

Scientific novelty. The relevance of this work is related to the solution of the problem. Its result is the determination of the optimal engineering solutions for modeling and manufacturing of physical models of retaining walls and shells foundations for their further application in tray tests in accordance with the provisions of the theory of experimental design.

Practical significance. Physical modeling allows the developer to create models that can be used many times and in conjunction with other engineers. The ability to import data and models from other development environments helps to ensure the accuracy of models. By integrating these models with control algorithms and signal processing, the developer can check integration errors at the beginning of the design process.

Results. Using the theory of similarity, physical models of retaining walls and shell foundations were constructed, having rigidity and strength characteristics corresponding to full-scale structures. In the future, this will allow us to study the process of contact interaction between these structures and the deformable base, and also to obtain mathematical patterns of their joint work.

Keywords: gusseted foundation, retaining wall of a special type, physical models, the theory of similarity.

УДК 622.272: 622.354.3

Косенко А. В. Шляхи підвищення ефективності розробки покладів природно-багатих залізних руд в умовах великих глибин

Мета. Доведення ефективності застосування на практиці ресурсозберігаючої технології підповерхового обвалення, на основі техніко-економічного порівняння з традиційною технологією, в залежності від потужності та коефіцієнту міцності рудного покладу, що розробляється.

Методи. Конструктивно-функціональний аналіз варіантів технології підповерхового обвалення, чисельне та фізичне моделювання технологічного процесу випуску руди під обваленими пустими породами, економіко-математичне моделювання і порівняльна оцінка варіантів системи розробки.

Наукова новизна. Показники вилучення чистої руди з обвалених запасів очисних панелей визначаються в залежності від глибини та інтенсивності ведення очисних робіт, коефіцієнту міцності рудного покладу та його потужності.

Практична значимість. Отримані аналітичні залежності економічної ефективності від потужності рудного покладу та коефіцієнту міцності руди при впровадженні на практиці ресурсозберігаючої технології підповерхового обвалення, що дає змогу окреслити найефективнішу область застосування розроблених проектних рішень.

Результати. Незважаючи на великі амортизаційні відрахування та інші витратні показники ресурсозберігаючої технології очисного виймання з використанням сучасної самохідної гірничої техніки, було доведено ефективність її впровадження на практиці. Так як у порівнянні з базовою вона дозволяє збільшити обсяг вилучення чистої руди на 4,6-14,4% в залежності від потужності, кута падіння і коефіцієнту міцності рудного покладу. Це дозволяє збільшити економічну ефективність від 6,8% до 57%, величина якої також залежить від гірничо-геологічних умов.

У процесі виконання досліджень також було встановлено, що варіант ресурсозберігаючої технології підповерхового обвалення є найбільш ефективним у процесі розробки середньої потужності та потужних покладів природно-багатих залізних руд Кривбасу. Так як застосування його дозволить значно збільшити вилучення чистої руди і знизити втрати її в надрах, а також збільшити інтенсивність очисного виймання багатих руд з більш високим вмістом заліза і зниженням її засмічення. А використання самохідної техніки дозволить покращити санітарно-гігієнічні умови праці гірників і підвищити безпеку ведення гірничих робіт.

Ключові слова: природно-багаті залізні руди; втрати руди; засмічення рудної маси; підповерхове обвалення; ресурсозберігаюча технологія; показники вилучення; інтенсивність випуску руди.

Косенко А. В. Пути повышения эффективности разработки залежей природно-богатых железных руд в условиях больших глубин

Цель. Доказательство эффективности применения на практике ресурсосберегающей технологии подэтажного обрушения, на основе технико-экономического сравнения с традиционной технологией, в зависимости от мощности и коэффициента крепости разрабатываемой рудной залежи.

Методы. Конструктивно-функциональный анализ вариантов технологии подэтажного обрушения, численное и физическое моделирование технологического процесса выпуска руды под обрушенными пустыми породами, экономико-математическое моделирование и сравнительная оценка вариантов системы разработки.

Научная новизна. Показатели извлечения чистой руды с обрушенных запасов очистных панелей определяются в зависимости от глубины и интенсивности ведения очистных работ, коэффициента крепости рудной залежи и его мощности.

Практическая значимость. Полученные аналитические зависимости экономической эффективности от мощности рудной залежи и коэффициента крепости руды при внедрении на практике ресурсосберегающей технологии подэтажного обрушения, что позволит определить эффективную область применения разработанных проектных решений.

Результаты. Несмотря на большие амортизационные отчисления и другие расходные показатели ресурсосберегающей технологии очистной выемки с использованием современной самоходной горной техники, была доказана эффективность ее внедрения на практике. Так как по сравнению с базовой она позволяет увеличить объем извлечения чистой руды на 4,6-14,4% в зависимости от мощности, угла падения и коэффициента крепости рудной залежи. Это позволяет увеличить экономическую эффективность от 6,8% до 57%, величина которой также зависит от горно-геологических условий.

В процессе выполнения исследований также было установлено, что вариант ресурсосберегающей технологии подэтажного обрушения является наиболее эффективным в процессе разработки средней мощности и мощных залежей природно-богатых железных руд Кривбасса. Так как применение его позволит значительно увеличить извлечение чистой руды и снизить потери ее в надрах, а также увеличить интенсивность очистной выемки богатых руд с более высоким содержанием железа и снижением ее разубоживания. А использование самоходной техники позволит улучшить санитарно-гигиенические условия труда горняков и повысить безопасность ведения горных работ.

Ключевые слова: природно-богатые железные руды; потери руды; разубоживание; подэтажное обрушение; ресурсосберегающая технология; показатели извлечения; интенсивность выпуска руды.

Kosenko A. V. Ways of improving the efficiency of development of natural-rich iron ore deposits at great depths

Purpose. To prove the effectiveness of the use in practice of resource-saving technology of sub-level caving, on the basis of technical and economic comparison with traditional technology, depending on the thickness and the hardness coefficient of the ore deposit being developed.

Methods. Structural and functional analysis of options for sub-level caving technology, numerical and physical model study of the ore drawing under caving barren measures, economic and mathematical modeling and comparative evaluation of the options of the underground mining system.

Scientific novelty. The recovery percentages of headings from the caving reserves of extraction panels are determined depending on the depth and intensity of actual mining, the hardness coefficient of the ore deposit and its thickness.

Practical significance. The obtained analytical dependencies of economic efficiency on the thickness of the ore deposit and the hardness coefficient of the ore when implementing the resource-saving technology of sub-level caving in practice, which will allow to determine the effective area of application of the developed design solutions.

Results. Despite the large depreciation charges and other expenditure indicators of the resource-saving technology of the actual mining using modern self-propelled mining equipment, the effectiveness of its implementation in practice was proved. As compared to the baseline, it allows to increase the volume of extraction of headings by 4.6-14.4%, depending on the thickness, the angle of dip and the hardness coefficient of the ore deposit. This allows increasing the economic efficiency from 6.8% to 57%, the value of which also depends on the geological factor.

In the process of carrying out the research, it was also found that a variant of resource-saving technology of sub-level caving is most effective in the process of developing average thickness and thickness deposits of the natural-rich iron ores of Kryvbas. Since its application will significantly increase the extraction of headings and reduce its loss in the entrails, as well as increase the intensity of the natural mining of rich ores with higher iron content and a decrease in its dilution. And the use of

self-propelled machinery will improve the sanitary and hygienic working conditions of miners and increase the safety of mining operations.

Keywords: natural-rich iron ores; ore loss; dilution; sub-level caving; resource-saving technology; recovery percentages; intensity of ore drawing.

УДК 331.454:614.8(4/9)

Швагер Н.Ю., Заїкіна Д.П. Аналіз систем управління охороною праці зарубіжних країн

Мета. Метою даної статті є розгляд підходів до удосконалення управління охороною праці на українських промислових підприємствах за рахунок аналізу існуючих систем управління охороною праці на основі кращих світових практик.

Методи дослідження. В основі підходу до визначення цілей модернізації системи управління охороною праці в промислово розвинених країнах лежить розуміння того, що жодне підприємство не може обмежуватися турботою про виробництво товарів або послуг, не турбуючись про умови безпеки праці, здоров'я і благополуччя своїх працівників. І це відбувається не тільки через гуманні міркування, але також через розуміння прямого або непрямого впливу умов праці на ефективне функціонування працівників.

Наукова новизна. У статті проведено порівняльний аналіз систем управління охороною праці зарубіжних країн. Кількість нещасних випадків та професійної захворюваності є основним компонентом, який показує ефективність функціонування системи управління охороною праці на виробництві.

Практична значимість. Обґрунтування вибору методів удосконалення управління охороною праці.

Результати. Аналіз організації роботи з охорони праці на рівні підприємств свідчить про те, що вона складається на базі спільних зусиль адміністрації та працюючих. У розвинених країнах відповідальність за законом за створення безпечних умов праці лежать на першому керівнику, який видає накази, організовує і контролює всю діяльність на підприємстві, в тому числі і з охорони праці. Перший керівник делегує свої владні повноваження з питань охорони праці конкретній особі з управлінського персоналу, який повинен організувати роботу з охорони праці. Крім того, створюються спеціальні служби безпеки та гігієни праці.

Ключові слова: шкідливі та небезпечні умови праці, нещасний випадок, професійна захворюваність, професійна патологія, причини нещасних випадків, виробничий процес, процедура ідентифікації та управління ризиків, система управління охороною праці

Швагер Н.Ю., Заїкіна Д.П. Анализ систем управления охраной труда зарубежных стран

Цель. Целью данной статьи является рассмотрение подходов к совершенствованию управления охраной труда на украинских промышленных предприятиях за счет анализа существующих систем управления охраной труда на основе лучших мировых практик.

Методы исследования. В основе подхода к определению целей модернизации системы управления охраной труда в промышленно развитых странах лежит понимание того, что ни одно предприятие не может ограничиваться заботой о производстве товаров или услуг, не беспокоясь об условиях безопасности труда, здоровья и благополучия своих работников. И это происходит не только через гуманные соображения, но также из понимания прямого или косвенного влияния условий труда на эффективное функционирование работников.

Научная новизна. В статье проведен сравнительный анализ систем управления охраной труда зарубежных стран. Количество несчастных случаев и профессиональной заболеваемости является основным компонентом, который показывает эффективность функционирования системы управления охраной труда на производстве.

Практическая значимость. Обоснование выбора методов совершенствования управления охраной труда.

Результаты. Анализ организации работы по охране труда на уровне предприятий свидетельствует о том, что она состоит на базе совместных усилий администрации и работников. В развитых странах ответственность по закону за создание безопасных условий труда лежат на первом руководителе, который издает приказы, организует и контролирует всю деятельность предприятия, в том числе и по охране труда. Первый руководитель делегирует свои властные полномочия по вопросам охраны труда конкретному лицу с управленческого персонала, который должен организовывать работу по охране труда. Кроме того, создаются специальные службы безопасности и гигиены труда.

Ключевые слова: вредные и опасные условия труда, несчастный случай, профессиональная заболеваемость, профессиональная патология, причины несчастных случаев, производственный процесс, процедура идентификации и управления рисками, система управления охраной труда

Schwager N.Y., Zaikina D.P. Analysis of the occupational health and safety management systems of foreign countries

Purpose. The goal of this article is to review the main approaches to improving the organization of occupational health and safety in the Ukrainian industrial enterprises through the analysis of existing occupational health and safety management systems based on the best global practices

Research methods. In the approach to defining goals modernization the occupational health and safety management system in industrialized countries is the realization that any business is unable to be limited to tendance for the production of commodities or services, have no concern of conditions safe protection, health and well-being of their workers. And this happens not only due to humane consideration, but also by understanding the direct or indirect influence of working conditions on the effective functioning of workers.

Originality. This article provides a comparative analysis of the occupational health and safety management systems of foreign countries. Number of accidents and occupational diseases is the major constituent that shows the efficiency of the occupational health and safety management system in the industry.

Practical value. Justification of the choice of analytical method to improving the organization of occupational health and safety.

Findings. Analysis of activity management of occupational health and safety at the enterprise level leads to the fact that it consist is based on the joint efforts of the administration and workers. In developed countries, legal accountability for the creation of safe labour conditions are the first leader who issues an orders, organizes and controls all activities in a business

environment, including occupational health and safety. The chief executive officer delegate its powers of authority on health and safety matters to a particular person management personnel, who must organize work in occupational health and safety. Also, special services in occupational health and safety are created.

Keywords: harmful working conditions, health and safety incident, occupational diseases, industrial pathology, unforeseeable case, industrial processes, likelihood of occurrence, identification procedure and risk management, occupational health and safety management system

УДК 622. 807

Лапшин О.Є., Лапшин О.О., Лапшина Д.О. Перспектива провітрювання при відкрито-підземній розробці родовищ залізних руд

Стаття присвячена аналізу можливості застосування різних способів провітрювання кар'єрів і шахт при сумісній розробці родовищ залізних руд. Існуючий всмоктувальний спосіб провітрювання шахт має цілий ряд недоліків, таких як непродуктивні витoki повітря та можливість потрапляння шкідливих газів з кар'єру у гірничі виробки. Нагнітальний спосіб провітрювання шахт небезпечний потраплянням пилу і отруйних газів з шахт в кар'єрний простір. Комбінований спосіб потребує проведення додаткових вентиляційних виробок, головних вентиляторних установок і обладнання, що значно підвищить собівартість сировини та ускладнить управління вентиляцією усього гірничого комплексу.

Метою цього дослідження є запропонувати найбільш прийнятний спосіб провітрювання кар'єрів і шахт при їх сумісній розробці родовищ залізних руд, який дозволяє знизити екологічні проблеми, підтримувати виробничі потужності, зменшити економічні витрати та забезпечити безпеку працюючих на підземних і на відкритих роботах.

Метод дослідження – застосовувався комплексний метод, який передбачав аналіз переваг та недоліків всмоктувального і нагнітального і комбінованого способів провітрювання, дослідження технічних параметрів водоповітряної зависи для очищення повітря від шкідливих домішок, її лабораторні і промислові випробування в умовах шахт.

Новизна отриманих результатів полягає у тому, що запропоновано новий реверсивний спосіб провітрювання кар'єрів і шахт за сумісною схемою з використанням природної тяги і вентиляторної установки розташованої на поверхні та очищення повітря за допомогою гідравлічної зависи в підземній виробці, яка відрізняється тим, що за рахунок високого тиску води утворюється дрібнодисперсний водоповітряний факел негативної полярності, що призводить до підвищення конденсації вологи і коагуляції пилу та адсорбції шкідливих газів на поверхні крапель води.

Практична цінність запропонованого способу провітрювання визначається тим, що його застосування в умовах відкрито-підземної розробки родовищ дозволяє використовувати відпрацьовані гірничі виробки для надходження повітря і пересування і роботу потужних бурових і навантажувальних машин в шахтах, відпрацьовувати поклади залізної руди на глибоких горизонтах, здійснити закладання підземних порожнин розкритими породами кар'єрів.

Результати розрахунків і випробувань дозволяють рекомендувати реверсивний спосіб провітрювання шахт і кар'єрів за допомогою одного вентилятора при цьому використовуються відпрацьовані гірничі виробки для надходження повітря і потужної техніки та природна тяга, яка дозволяє підвищити ефективність вентиляції, та забезпечити безпеку праці. Запропонований спосіб очищення забрудненого повітря за допомогою гідравлічних завис високого тиску дозволяє знизити вміст шкідливих домішок у рудниковому повітрі до санітарних норм і поліпшити умови праці в кар'єрах і в гірничих виробках шахт.

Ключові слова: кар'єр, шахта, гірничі виробки, провітрювання, вентилятор, пил, газ, гідравлічна завеса.

Лапшин А.Е., Лапшин А.А., Лапшина Д.А. Перспективы проветривания при открыто-подземной разработке месторождений железных руд

Статья посвящена анализу возможности применения различных способов проветривания карьеров и шахт при совместной разработке месторождений железных руд. Существующий всасывающий способ проветривания шахт имеет целый ряд недостатков, таких как непроемчивые утечки воздуха и возможность попадания вредных газов из карьера в горные выработки. Нагнетательный способ проветривания шахт опасен попаданием пыли и ядовитых газов из шахт в карьерное пространство. Комбинированный способ требует проведения дополнительных вентиляционных выработок, главных вентиляторных установок и оборудования, что значительно повысит себестоимость сырья и усложнит управления вентиляцией всего горного комплекса.

Целью данного исследования является предложить наиболее приемлемый способ проветривания карьеров и шахт при их совместной разработке месторождений железных руд, который позволяет снизить экологические проблемы, поддерживать производственные мощности, уменьшить экономические затраты и обеспечить безопасность работающих на подземных и на открытых работах.

Метод исследования - применялся комплексный метод, который предусматривал анализ преимуществ и недостатков всасывающего и нагнетательного и комбинированного способов проветривания, исследования технических параметров водовоздушной завесы для очистки воздуха от вредных примесей, ее лабораторные и промышленные

Новизна полученных результатов заключается в том, что предложен новый реверсивный способ проветривания карьеров и шахт по совместной схеме с использованием естественной тяги и вентиляторной установки расположенной на поверхности и очистки воздуха с помощью гидравлической завесы в подземной выработке, которая отличается тем, что за счет высокого давления воды образуется мелкодисперсный водовоздушный факел отрицательной полярности, что приводит к повышению конденсации влаги, коагуляции пыли и адсорбции вредных газов на поверхности капель воды.

Практическая ценность предложенного способа проветривания заключается в том, что в условиях открыто-подземной разработки месторождений создается возможность использовать отработанные горные выработки для поступления воздуха, передвижения и работы мощных буровых и погрузочных машин в шахтах, отрабатывать залежи железной руды на глубоких горизонтах, осуществить закладку подземных пустот вскрышными породами карьеров.

Результаты расчетов и испытаний позволяют рекомендовать реверсивный способ проветривания шахт и карьеров с помощью одного вентилятора при этом используются отработанные горные выработки для поступления воздуха,

передвижения мощной техники и естественная тяга, которая позволяет повысить эффективность вентиляции, и обеспечить безопасность труда. Предложенный способ очистки загрязненного воздуха с помощью гидравлических завес высокого давления позволяет снизить содержание вредных примесей в рудничном воздухе до санитарных норм и улучшить условия труда в карьерах и в горных выработках шахт.

Ключевые слова: карьер, шахта, горная выработка, проветривание, вентилятор, пыль, газы, гидравлическая завеса.

Lapshyn O.Ye., Lapshyn A.A., Lapshyna D.A. Prospects of ventilation in the open-underground development of iron ore resources

The article is devoted to the analysis of the possibility of using different methods of ventilation of quarries and mines in the joint development of deposits of iron ores. The existing suction method for ventilation of mines has a number of disadvantages, such as non-productive leaks of air and the possibility of harmful gases from entering the mining quarry. The blasting method of ventilation of mines is dangerous for dust and toxic gases to enter the quarry space. The combined method requires additional ventilations, main fan units and equipment, which will significantly increase the cost of raw materials and complicate the management of ventilation of the whole mountain complex.

The purpose of this study is to suggest the most appropriate way of ventilating quarries and mines in their joint development of iron ore deposits, which allows to reduce environmental problems, maintain production capacity, reduce economic costs and provide safety for workers in underground and open works.

Method of investigation - a complex method was applied that provided for analysis of advantages and disadvantages of suction and injection and combined methods of ventilation, research of technical parameters of a water-air curtain for air purification from harmful impurities, its laboratory and industrial.

The novelty of the results is that a new reversible method for ventilating quarries and mines has been proposed in a joint scheme using natural draft and a fan unit located on the surface and cleaning the air with a hydraulic curtain in the underground mine, which is distinguished by the fact that due to high water pressure a fine-dispersed water-air torch of negative polarity is formed, which leads to an increase in moisture condensation, coagulation of dust and adsorption of harmful gases on the surface to Apel of water.

The practical value of the proposed method of ventilation lies in the fact that in conditions of open-underground development of deposits, it is possible to use worked-out mines for air intake, movement and operation of powerful drilling and loading machines in mines, to work out deposits of iron ore on deep horizons, to lay underground holes overburden quarry.

The results of calculations and tests make it possible to recommend a reversible method for ventilating mines and quarries with the help of a single fan. In this case, waste mining is used for air intake, movement of powerful equipment, and natural draft that allows to increase the efficiency of ventilation and ensure labor safety. The proposed method for cleaning contaminated air with hydraulic high-pressure air curtains allows reducing the content of harmful impurities in mine air to sanitary standards and improving working conditions in quarries and mine workings.

Keywords: quarry, mine, mining, ventilation, fan, dust, gases, hydraulic curtain.

УДК 621.313.024.67.

Кузьменко А.С., Коломіц Г.В. Дослідження актуальності використання сонячного магніто-левітаційного двигуна

Мета роботи і задачі дослідження. Конструювання та дослідження актуальності використання та подальшого розвитку сонячного магніто-левітаційний двигуна Ларі Спрінга.

Для досягнення поставленої мети потрібно зробити: обрати оптимальний варіант конструкції двигуна; створити робочу модель двигуна; провести випробування та налаштування; провести досліди та знайти основні закономірності роботи двигуна.

Актуальність роботи. Зараз все частіше постають питання про розробку нових типів двигунів. Досить гостро цей напрям пов'язаний з підприємствами та транспортом, адже більшість двигунів – це покращенні моделі минулого. Нові двигуни повинні бути не тільки ефективніші, але і дешевші.

У ДВНЗ «Криворізький національний університет» існує лабораторія «Електричних машин». Для вивчення сучасних напрямків розвитку електричних машин постійно проводяться дослідження у цьому напрямку У навчальний процес впроваджуються лабораторні роботи по аналізу роботи сучасних двигунів. Останні з таких робіт: «Кроковий двигун», «Вентильний реактивний двигун».

Методи досліджень. При вирішенні задачі використовувались загальні методи обчислювальної техніки, побудовано макет сонячного магніто-левітаційного двигуна.

Наукова новизна. Сконструйована робоча модель сонячного магніто-левітаційного двигуна та досліджені основні його властивості.

Практична цінність. Сучасні електродвигуни, хоча і основані на одному і тому ж законі, що і електромеханічний перетворювач Якобі, проте мають значну різницю. З плином часу, електричні двигуни стали значно потужніші, менші, та значно вище їх ККД. Коефіцієнт корисної дії сучасних електродвигунів лежить в межах 85-95%.

Тому так гостро існує питання про пошуку та створення нових ефективних видів двигунів з максимально ефективним перетворенням різних видів відновлюваної енергії в механічну.

Результати. Конструкція двигуна виявилася працездатною. Сучасні магніти дають можливість створювати магнітний підвіс для будь якої маси ротора. Створивши більш масштабну модель з потужною системою збудження та більшою кількістю активних обмоток якоря можливо створити двигун із значним моментом на валу. Також існує можливість приєднувати до валу двигуна механізми, що дає більш широкі можливості використання. В подальшому планується на базі отриманих результатів створити більш масштабну модель двигуна.

Ключові слова: магніто-левітаційний двигун, модель, магнітний підвіс, ротор, фотоелементи.

Кузьменко А.С., Коломіц Г.В. Исследование актуальности использования солнечного магнито-левитационного двигателя

Цель работы и задачи исследования. Конструирование и исследование актуальности использования и развития солнечного магнито-левитационного двигателя Ларри Спринга.

Для достижения поставленной цели необходимо сделать: выбрать оптимальный вариант конструкции двигателя; создать рабочую модель двигателя; провести испытания и настройки; провести опыты и найти основные закономерности работы двигателя.

Актуальность работы. Сейчас все чаще возникают вопросы о разработке новых типов двигателей. Достаточно остро это направление связано с предприятиями и транспортом, ведь большинство двигателей - это улучшенные модели прошлого. Новые двигатели должны быть не только эффективные, но и дешевле.

В ГВУЗ «Криворожский национальный университет» существует лаборатория «Электрических машин». Для изучения современных направлений развития электрических машин постоянно проводятся исследования в этом направлении, в учебный процесс внедряются лабораторные работы по анализу работы современных двигателей. Последние из таких работ: «Шаговый двигатель», «Вентильный реактивный двигатель».

Методы исследования: При решении задачи использовались общие методы вычислительной техники, построено макет солнечного магнито-левитационного двигателя.

Научная новизна. Сконструирована рабочая модель солнечного магнито-левитационного двигателя та исследованы основные его свойства.

Практическая ценность. Современные электродвигатели, хотя и основаны на одном и том же законе, что и электромеханический преобразователь Якобы, однако имеют значительную разницу. С истечением времени, электрические двигатели стали значительно мощнее, меньше, та значительно вырос их ККД. Коэффициент полезного действия современных электродвигателей лежит в мерах 85-95%.

Поэтому так остро существует вопрос о поиске и создании новых эффективных видов двигателей с максимально эффективным преобразованием разных видов возобновляемой энергии в механическую.

Результаты. Конструкция двигателя оказалась работоспособной. Современные магниты дают возможность создавать магнитный подвес для любой массы ротора. Создав более масштабную модель с мощной системой возбуждения и большим количеством активных обмоток якоря возможно создать двигатель с значительным моментом на валу. Также существует возможность присоединять к валу двигателя механизмы, что дает более широкие возможности использования. В дальнейшем планируется на базе полученных результатов создать более масштабную модель двигателя.

Ключевые слова: магнито-левитационный двигатель, модель, магнитный подвес, ротор, фотоэлементы.

Kuzmenko A.S., Kolomits G.V. Research of the use of solar magneto-levitational engine

Purpose. Designing and researching the relevance of use and development Larry Springs solar magnetic levitation engine.

To achieve the goal, it is necessary to make: choose the optimal version of the engine design; create a working engine model; conduct tests and settings; conduct experiments and find the basic laws of engine operation.

Relevance of the article. Now more and more questions arise about the development of new types of engines. Quite acutely this direction is connected with enterprises and transport, since most engines are improved models of the past. New engines must be efficient and cheaper.

There is a laboratory of "Electric Machines" in the Kryvyi Rih National University. In order to study the contemporary trends in the development of electric machines, research is constantly being conducted in this direction, laboratory work is underway to analyze the work of modern engines. The latest of these works are "Step motor", "Valve jet engine".

Methods of research. In solving the problem, general methods of computing technology were used, a model of a solar magneto-levitation engine was constructed.

Scientific novelty. The working model of the solar magneto-levitation engine is constructed and its main properties are researched.

Practical value. Modern electric motors, although based on the same law as the electromechanical converter of Jacob, however, have a significant difference. With the expiration of time, electric motors became much more powerful, smaller, and significantly increased their efficiency. The efficiency of modern electric motors is in the range of 85-95%. Therefore, the question of the search and creation of new efficient types of engines with the most efficient conversion of different types of renewable energy into the mechanical one is so acute.

Results. The design of the engine proved to be working. Modern magnets make it possible to create a magnetic suspension for any rotor mass. By creating a larger model with a powerful excitation system and a large number of active anchor windings, it is possible to create an engine with a significant moment on the shaft. There is also the possibility of attaching mechanisms to the shaft of the engine, which gives greater scope for use. In the future it is planned, based on the results obtained, to create a larger model of the engine.

Keywords: magneto-levitation engine, model, magnetic suspension, rotor, photocells.

УДК (004.94:622.83):622.268.1

Андреев Б. Н., Сергеев С. С. Моделирование напряженно-деформированного состояния массива на участке строительства параллельных выработок

Целью работы является исследование особенностей формирования напряженно-деформированного состояния массива за плоскостью забоя при сооружении параллельных горных выработок.

Методы исследования. Поставленная в работе цель достигнута путем оценки результатов лабораторных исследований, компьютерного моделирования и иных апробированных методов решения геомеханических задач.

Научная новизна исследования заключается в установлении зависимостей размеров зоны неравнокомпонентных напряжения за плоскостью забоя от расстояния между параллельными выработками, направленных на совершенствование технологии геостроительства.

Практическая значимость. Полученные зависимости напряженно – деформированного состояния приконтурной области массивов параллельно строящихся выработок, позволяют определить способ проведения сооружения и рациональный тип крепления, для обеспечения должного закрепного пространства и долгосрочного использования подземных объектов.

Результаты. Рассмотрены особенности сооружения горных выработок на шахтах Криворожского бассейна. Определена оптимальная программа, на основе методов конечных элементов позволяющая рассчитать перемещения, деформации, напряжения, внутренние усилия, возникающие в теле под действием статической нагрузки. В ходе исследований доказано, что в процессе выемки породы при проведении выработок происходит перераспределение статических напряжений и в призабойной области массива возникает непосредственно примыкающая к плоскости забоя зона неравнокомпонентного напряженного состояния (зона пластических деформаций растяжения), которая переходит в зону сжатия (естественное напряженное состояние массива). Проанализированы характерные особенности геомеханического состояния массива пород за плоскостью забоя горизонтальных горных выработок. Приведены результаты компьютерного моделирования распределения напряжений естественного поля для условий шахт Криворожского бассейна. Установлены составляющие элементы зоны неравнокомпонентного напряженного состояния в приконтурной области массива. Определены фактические размеры зоны пластических деформаций растяжения и сжатия за плоскостью забоя параллельных выработок. Получены закономерности перераспределения полей напряжений впереди забоев в зависимости от расстояния между параллельными выработками. Уточнены фактические размеры целика между однотипными подземными объектами исключая взаимное влияние на контур сооружений.

Ключевые слова: горизонтальная горная выработка; геостроительство; компьютерное моделирование.

Андреев Б. М., Сергеев С. С. Моделювання напружено-деформованого стану масиву на ділянці будівництва паралельних виробок

Метою роботи є дослідження особливостей формування напружено-деформованого стану масиву за площиною вибою при спорудженні паралельних гірських виробок.

Методи дослідження. Поставлена в роботі мета досягнута шляхом оцінки результатів лабораторних досліджень, комп'ютерного моделювання та інших апробованих методів вирішення геомеханічних задач.

Наукова новизна дослідження полягає у встановленні залежностей розмірів зони нерівнокомпонентних напружень за площиною вибою від відстані між паралельними виробками, спрямованих на вдосконалення технології геобудівництва.

Практична значимість. Отримані залежності напружено - деформованого стану приконтурної області масивів паралельно споруджуваних виробок, дозволяють визначити спосіб проведення споруди і раціональний тип кріплення, для забезпечення належного закріпного простору і довгострокового використання підземних об'єктів.

Результати. Розглянуто особливості спорудження гірничих виробок на шахтах Криворізького басейну. Визначено оптимальну програму, на основі методів кінцевих елементів, яка дозволяє розрахувати переміщення, деформації, напруження, внутрішні зусилля, що виникають в масиві під дією статичного навантаження. В ході досліджень доведено, що в процесі виїмки породи при проведенні виробок відбувається перерозподіл статичних напруг і в призабойній області масиву виникає безпосередньо примикає до площини забоя зона нерівнокомпонентного напруженого стану (зона пластичних деформацій розтягування), яка переходить в зону стиснення (природне напружений стан масиву). Проаналізовано характерні особливості геомеханічного стану масиву порід за площиною вибою горизонтальних гірничих виробок. Наведено результати комп'ютерного моделювання розподілу напружень природного поля для умов шахт Криворізького басейну. Встановлено складові елементи зони нерівнокомпонентного напруженого стану в приконтурній області масиву. Визначено фактичні розміри зони пластичних деформацій розтягування і стиснення за площиною вибою паралельних виробок. Отримано закономірності перерозподілу полів напружень попереду вибоїв в залежності від відстані між паралельними виробками. Уточнено фактичні розміри целика між однотипними підземними об'єктами, які виключають взаємний вплив на контур споруд.

Ключові слова: горизонтальна гірнична виробка; геобудівництво; комп'ютерне моделювання.

Andreev B.N., Sergeev S.S. Simulation of rock mass strain-stress state at the area of parallel mine workings construction

Purpose is investigation of particularities of the strain-stress state creation in rock mass by the mine face plane at construction of the parallel mine workings.

Research methods. Stated objective of work is achieved by estimation of laboratory investigation results, computerized simulation and other approved techniques for solving geomechanics problems.

Scientific novelty of this study consists in determination of relationships between the size of non-uniform stress zone behind the mine face plane and spacing of parallel mine workings, which are aimed to improvement of geoconstruction technology.

Practical importance. Relationships obtained for strain-stress state of rock mass border region of drifts being constructed in parallel allow determination of construction method and reasonable supporting type in order to provide proper space between support and wall and long-term use of underground facilities.

Results. Particularities of construction of mine workings at the Kriviy Rig Basin mines are considered. The optimum program is determined based on finite elements methods allowing calculation of displacement, strain, stress and internal forces developed in the body under the static loads. From this research, it is proved that the rock mucking during the working driving results in static stresses redistribution, and non-uniform stressed state zone (extensional plastic strain zone) located immediately adjacent to the face is formed in the face area of mass, and this zone grades into the compression zone (natural stressed state of mass). Distinguishing characteristic of geomechanical state of rock mass behind the drift face plane are analyzed. Results of computerized simulation of natural field stresses distribution for the conditions of the Kriviy Rig Basin mines are presented. Constituent elements of non-uniform stress state zone in the rock mass border region are determined. Actual size of the tensile and compression plastic strain zone behind the parallel mine working face plane is determined. Regularities of stress field redistribution ahead of mine face depending on parallel mine workings spacing are obtained. Actual size of barrier between the same-type underground facilities preventing mutual influence on the structure border is specified.

Keywords: drift; geoconstruction; computerized simulation.

УДК 621.313.323

Пересунько І.І., Беднов Е.С., Кіянчук В.М., Курочкін Ю.В. Діагностика стану параметрів синхронних електроприводів шахтних насосних установок

Мета. Є підвищення рівня якості функціонування синхронного електроприводу насосних установок шляхом застосування засобів діагностування та оцінювання їх енергетичного і технічного стану.

Методи дослідження. При проведенні розглянутого в статті дослідження вирішуються шляхом застосування теорії електропривода, теорії електричних кіл та методів: математичного аналізу, аналізу гармонічного складу кривих струмів і напруг, математичного і комп'ютерного моделювання та теорії вимірювань, для створення системи діагностування.

Наукова новизна. Розвинуто метод діагностування електроприводу насосних установок з синхронними двигунами, який враховує показники якості електричної енергії, режим навантаження і поєднує метод складових втрат і спектрального аналізу струмів та напруг, що дозволяє визначити енергетичний і технічний стан досліджуваної електромеханічної системи.

Практична значимість. Визначено діагностичні ознаки електричних та механічних аварійних режимів роботи насосних установок з синхронними двигунами, які дозволяють встановити тип ушкоджень і виконати їх своєчасний ремонт без зриву технологічного процесу.

Результати. Основними причинами низької якості функціонування синхронних електроприводів (СЭП) насосних установок (НУ) та виникнення аварій є порушення умов експлуатації, неврахування впливу якості напруги живлення та режиму навантаження, недостатній обсяг інформації про технічний стан, несвоєчасне виявлення і усунення дефектів устаткування, неякісний ремонт тощо. Синхронні електроприводи насосних установок, від надійної і безпечної роботи яких залежать технологічні та економічні показники підприємства не діагностуються постійно під час експлуатації. Особливо гостро ці вимоги пред'являються до електромеханічних систем, які є ланкою безперервного технологічного процесу. Дієвими заходами можуть стати: розроблення засобів діагностування енергетичного і технічного стану та технологічних заходів з економії електроенергії СЭП.

Ключові слова: аварій, електромеханічних систем, діагностування, синхронний електропривод, насосні установки, гармонічні складові кривих струмів та напруг.

Пересунько И.И., Беднов Е.С., Киянчук В.М., Курочкин Ю.В. Диагностика состояния параметров синхронных электроприводов шахтных насосных установок

Цель. Повышение уровня качества функционирования синхронного электропривода насосных установок путем применения средств диагностирования и оценки их энергетического и технического состояния.

Методы исследования. в статье проведены, рассмотрены исследования решаются путем применения теории электропривода, теории электрических цепей и методов: математического анализа, анализа гармонического состава кривых токов и напряжений, математического и компьютерного моделирования, для создания системы диагностирования.

Научная новизна. Развитие методов диагностирования электропривода насосных установок с синхронными электроприводом, учитывающий показатели качества электрической энергии, режим нагрузки и сочетает метод составляющих потерь и спектрального анализа токов и напряжений, позволяет определять энергетический и состояние изучаемой электромеханической системы.

Практическая значимость. Определены диагностические признаки электрических и механических аварийных режимов работы насосных установок с синхронными двигателями, которые позволяют установить тип поврежденный и выполнить их своевременный ремонт без срыва технологического процесса.

Результаты. Основными причинами низкого качества функционирования синхронных электроприводов (СЭП) насосных установок (НУ) и возникновения аварий является нарушение условий эксплуатации, не учет влияния качества напряжения питания и режима нагрузки, недостаточный объем информации о техническом состоянии, несвоевременное выявление и устранение дефектов оборудования, некачественный ремонт и тому подобное. Синхронные электроприводы насосных установок, от надежной и безопасной работы которых зависят технологические и экономические показатели предприятия не диагностируются постоянно во время эксплуатации. Особенно остро эти требования предъявляются к электромеханическим системам, которые являются звеном непрерывного технологического процесса. Действенными мерами могут стать: разработка средств диагностирования энергетического и технического состояния и технологических мер по экономии электроэнергии СЭП.

Ключевые слова: аварий, электромеханических систем, диагностирование, синхронный электропривод, насосные установки, гармонические составляющие кривых токов и напряжений.

Peresunko I.I., Bednov E.S., Kyanchuk V.N., Kurochkin Yu.V. Emergency diagnostics of synchronous electric drive of pumping units in the mine

Purpose. Improvement of the quality level of the functioning of the synchronous electric drive of pumping units by using diagnostic tools and evaluating their energy and technical condition.

Methods of research. Studies are considered by applying the theory of electric drive, the theory of electrical circuits and methods: mathematical analysis, analysis of the harmonic composition of current and voltage curves, mathematical and computer modeling, to create a diagnosis system.

Scientific novelty. The development of methods for diagnosing the electric drive of pumping units with synchronous electric drives, taking into account the indicators of the quality of electrical energy, the load regime and combines the method of component losses and spectral analysis of currents and voltages, makes it possible to determine the energy and state of the electromechanical system under study.

Practical significance. Diagnostic signs of electrical and mechanical emergency operation modes of pumping units with synchronous motors are determined, which allow to establish the type of damage and perform their timely repairs without disrupting the technological process.

Results. The main reasons for poor performance of synchronous electric drives of pumping stations and the occurrence of accidents are the violation of operating conditions, not taking into account the influence of power supply voltage and load conditions, insufficient information on the technical condition, untimely detection and elimination of equipment defects, poor repair and the like. Synchronous electric drives of pumping units, from reliable and safe operation of which the technological and economic parameters of the enterprise depend, are not constantly diagnosed during operation. These requirements are especially acute for electromechanical systems, which are the link of a continuous technological process. Effective measures may include: developing tools for diagnosing the energy and technical condition and technological measures to save electricity of synchronous electric drives.

Keywords: accidents, electromechanical systems, diagnostics, synchronous electric drive, pump installations, harmonic components of current and voltage curves.

УДК 536.212.2:519.632.4:517.962.8

Сайтгарєв Н.Х., Шаповалова Н.Н. Числове розв'язання крайової задачі теплопровідності з використанням бібліотеки наукових розрахунків SciPy

Мета. Інформатизація суспільства країни – це один з факторів, який кардинально впливає на розвиток економіки, і неможливий без висококваліфікованих кадрів. Випускнику вищого навчального закладу необхідно володіти сформованими базовими професійними компетенціями, що дозволить майбутньому фахівцю стати успішним в умовах конкурентної боротьби на ринку праці. Інформатична компетентність майбутніх інженерів є невід'ємною складовою базових компетенцій. Тому метою роботи є розробка комплексу професійно-спрямованих завдань і бібліотеки їх програмної реалізації для формування компетентностей в широкій предметній області та професійної мобільності майбутніх інженерів-теплоенергетиків.

Методи. Моделювання та розрахунок розподілу температури в технологічних пристроях розглядається на прикладі рішення крайової задачі теплопровідності, яка описується в загальному вигляді диференціальним рівнянням Фур'є. Завдання для нелінійних рівнянь або навіть лінійні задачі, але в областях складної форми, дуже рідко вдається вирішити аналітично. Для вирішення рівняння Фур'є викладено чисельний метод кінцевих різниць, застосування якого дозволяє звести крайову задачу до вирішення систем алгебраїчних рівнянь.

Наукова новизна. Розробка комплексу професійно-спрямованих прикладних задач і бібліотеки програм, що реалізують чисельні методи їх вирішення.

Практична значимість. Робота має міждисциплінарний характер. Її практичне значення полягає в підвищенні якості підготовки майбутніх фахівців. При розрахунках різних типів енергетичних і технологічних систем на стадії пошукового конструювання потрібна всебічна оцінка теплообмінних процесів, знання температурних полів в агрегатах, визначення всіх необхідних енергетичних характеристик з урахуванням експлуатаційних навантажень. Студенти, що опанували рішення диференціальних рівнянь розподілу температури в багатьох процесах тепломасопереноса за допомогою чисельних методів, зможуть використовувати не тільки традиційно застосовані в інженерній практиці залежності та розрахункові співвідношення, а й методи математичного моделювання, що підвищить якість технічних рішень.

Результати. Розроблено комплекс професійно-спрямованих прикладних задач для підготовки у вищих навчальних закладах майбутніх фахівців напряму «Теплоенергетика», а також бібліотека програм, що реалізують чисельні методи їх вирішення.

Ключові слова: інформатичні компетентності, інформаційно-комунікаційні технології, стаціонарна крайова задача теплопровідності, числові методи, метод скінчених різниць, бібліотека наукових розрахунків SciPy, теплоенергетика.

Сайтгарєв Н.Х., Шаповалова Н.Н. Численное решение краевой задачи теплопроводности с использованием библиотеки научных расчетов SciPy

Цель. Информатизация общества страны – это один из факторов, кардинально влияющий на развитие экономики, который невозможен без высококвалифицированных кадров. В выпускнику высшего учебного заведения необходимо обладать сформированными базовыми профессиональными компетенциями, что позволит будущему специалисту стать успешным в условиях конкурентной борьбы на рынке труда. Информатическая компетентность будущих инженеров является неотъемлемой составляющей базовых компетенций. Поэтому целью работы является разработка комплекса профессионально-направленных задач и библиотеки их программной реализации для формирования компетентностей в широкой предметной области и профессиональной мобильности будущих инженеров-теплоэнергетиков.

Методы. Моделирование и расчет распределения температуры в технологических устройствах рассматривается на примере решения краевой задачи теплопроводности, которая описывается в общем виде дифференциальным уравнением Фурье. Задачи для нелинейных уравнений или даже линейные задачи, но в областях сложной формы, очень редко удается решить аналитически. Для решения уравнения Фурье изложен численный метод конечных разностей, применение которого позволяет свести краевую задачу к решению систем алгебраических уравнений.

Научная новизна. Разработка комплекса профессионально-направленных прикладных задач и библиотеки программ, реализующих численные методы их решения.

Практическая значимость. Работа имеет междисциплинарный характер. Ее практическая значимость заключается в повышении качества подготовки будущих специалистов. При расчетах различных типов энергетических и технологических систем на стадии поискового конструирования нужно всесторонняя оценка теплообменных процессов, знания температурных полей в агрегатах, определения всех необходимых энергетических характеристик с учетом эксплуатационных нагрузок. Студенты, овладевшие численными методами решения дифференциальных уравнений распределения температуры во многих процессах тепломасопереноса смогут использовать не только традиционно применяемые в инженерной практике зависимости и расчетные соотношения, но и методы математического моделирования, что повысит качество технических решений.

Результаты. Разработаны комплекс профессионально-направленных прикладных задач для подготовки в высших учебных заведениях будущих специалистов направления «Теплоэнергетика», а также библиотека программ, реализующих численные методы их решения.

Ключевые слова: информатические компетентности, информационно-коммуникационные технологии, стационарная краевая задача теплопроводности, численные методы, метод конечных разностей, библиотека научных расчетов SciPy, теплоэнергетика.

Saitgareev N., Shapovalova N. Numerical solution of the boundary-value problem of thermal conductivity using the SciPy scientific calculation library

Purpose. Informatization of the country's society is one of the factors that fundamentally affects the development of the economy, which is impossible without highly qualified personnel. A graduate of a higher educational institution needs to have the basic professional competencies formed, which will allow the future specialist to become successful in a competitive labor market. The informational competence of future engineers is an integral part of the core competencies. Therefore, the goal of the work is the development of a set of professionally-directed tasks and a library of their software implementation for the formation of competencies in the broad subject area and professional mobility of future heat and power engineers.

Methods. Modeling and calculation of temperature distribution in technological devices is considered on the example of the solution of the boundary value problem of heat conduction, which is described in general form by the differential Fourier equation. Problems for nonlinear equations or even linear problems, but in areas of complex shape, very rarely can be solved analytically. To solve the Fourier equation, a numerical method of finite differences is developed, the application of which allows one to reduce the boundary value problem to the solution of systems of algebraic equations.

Scientific novelty. Development of a set of professionally-directed applied tasks and a library of programs that implement numerical methods for their solution.

Practical significance. The work is of an interdisciplinary nature. Its practical importance is to improve the quality of training future specialists. When calculating various types of energy and technological systems at the stage of search design, a comprehensive evaluation of heat exchange processes, knowledge of temperature fields in aggregates, determination of all necessary energy characteristics, taking into account operational loads, is necessary. Students who have mastered numerical methods for solving differential equations for the distribution of temperature in many heat and mass transfer processes will be able to use not only traditionally applied dependences and calculation relationships in engineering practice, but also methods of mathematical modeling that will improve the quality of technical solutions.

Results. A set of professionally-directed applied problems was developed for training future specialists in the field of "Heat-power engineering" in higher educational institutions, as well as a library of programs implementing numerical methods for their solution.

Keywords: informational competences, information and communication technologies, stationary boundary value problem of thermal conductivity, numerical methods, method of finite differences, SciPy scientific calculations library, thermal power engineering.

УДК 622.788

Савельев С.Г. Анализ показателей интенсивности процессов производства окисленных железорудных окатышей

Целью работы является сравнительный анализ интенсивности работы основных технологических агрегатов фабрик окомкования – окомкователей железорудной шихты и установок для упрочняющего окислительного обжига сырых окатышей.

Методы научного исследования. В работе использованы общелогические методы научного исследования – анализ и синтез, аналогия, обобщение.

Научная новизна работы состоит в развитии представлений о теоретических методах расчета удельной производительности окомкователей и трубчатых вращающихся печей для обжига окатышей, работающих в составе комбинированных установок, включающих колосниковую решетку, вращающуюся печь, кольцевой охладитель (РПО). Выполнен сравнительный расчет удельных поверхностных и объемных производительностей промышленных окомкователей различных типов и размеров. Показано, что факторы, снижающие потребность слоя во внешнем теплоносителе и увеличивающие его газопроницаемость, повышают производительность зон и обжигового агрегата в целом. Выведена формула для расчета удельной поверхностной производительности вращающейся печи для обжига окатышей на установке РПО.

Практическая значимость работы заключается в получении конкретных значений удельных поверхностных и объемных производительностей промышленных окомкователей различных типов, а также удельных поверхностных производительностей установок РПО, что позволяет принимать более обоснованные решения при разработке технико-экономических обоснований и технологических заданий на проектирование строительства новых фабрик по производству окисленных железорудных окатышей.

Результаты работы. Показано непрерывное увеличение мирового объема производства железорудных окатышей как экстенсивными (пуском в эксплуатацию новых агрегатов для производства окатышей и новых фабрик окомкования), так и интенсивными (совершенствованием применяемых технологий и оборудования) путями. Установлено, что средняя интенсивность процесса окомкования в тарельчатых окомкователях в 4,2 раза выше, чем в барабанных окомкователях; что общеагрегатная интенсивность термообработки сырых окатышей на установках РПО составляет 0,34-0,45 т/(м² гор. час), что составляет лишь 26-37 % лучших значений интенсивности термообработки окатышей на обжиговых машинах конвейерного типа.

Ключевые слова: интенсивность, процесс, окомкование, обжиг, удельная производительность, окатыши

Савельев С.Г. Аналіз показників інтенсивності процесів виробництва окислених залізгорудних окатишів

Метою роботи є порівняльний аналіз інтенсивності роботи основних технологічних агрегатів фабрик огрудкування – огрудковувачів залізгорудної шихти і установок для зміцнюючого окисного випалу сирих окатишів.

Методи наукового дослідження. В роботі використані загальнологічні методи наукового дослідження – аналіз і синтез, аналогія, узагальнення.

Наукова новизна роботи полягає в розвитку уявлень про теоретичні методи розрахунку питомої продуктивності огрудковувачів і трубочастих обертових печей для випалу окатишів, які працюють у складі комбінованих установок, що включають колосникові грати, обертову піч, кільцевої охолоджувач (ГПО). Виконано порівняльний розрахунок питомих поверхневих і об'ємних продуктивностей промислових огрудковувачів різних типів і розмірів. Показано, що фактори, які знижують потребу шару в зовнішньому теплоносії і збільшують його газопроникність, підвищують продуктивність зон і випалювального агрегату в цілому. Виведено формулу для розрахунку питомої поверхневої продуктивності обертової печі для випалення окатишів на установці ГПО.

Практична значимість роботи полягає в отриманні конкретних значень питомих поверхневих і об'ємних продуктивностей промислових огрудковувачів різних типів, а також питомих поверхневих продуктивностей установок ГПО, що дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення при розробці техніко-економічних обґрунтувань і технологічних завдань на проектування будівництва нових фабрик по виробництву окислених залізородних окатишів.

Результати роботи. Показано безперервне збільшення світового обсягу виробництва залізородних окатишів як екстенсивними (пуском в експлуатацію нових агрегатів для виробництва окатишів і нових фабрик огрудкування), так і інтенсивними (вдосконаленням застосовуваних технологій і обладнання) шляхами. Встановлено, що середня інтенсивність процесу огрудкування в тарілчастих огрудковувачах в 4,2 рази вище, ніж в барабанних; що загальноагрегатна інтенсивність термообробки сирих окатишів на установках ГПО становить 0,34-0,45 т/(м² гар. год.), що становить лише 26-37 % кращих значень інтенсивності термообробки окатишів на випалювальних машинах конвеєрного типу.

Ключові слова: інтенсивність, процес, огрудкування, випал, питома продуктивність, окатиші.

Saveliev S.G. Analysis of production intensivity indices of oxidized iron ore pellets

The purpose of the paper is a comparative analysis of the intensity of the work of the main technological aggregates of pelletizing factories – pelletizers of iron ore charge and installations for hardening oxidative roasting of raw pellets.

Methods. The work used general scientific methods of research - analysis and synthesis, analogy, generalization.

The scientific novelty of the work consists in developing ideas about the theoretical methods for calculating the specific productivity of pelletizers and tubular rotary kilns for roasting pellets that operate as part of combined plants, including a grate, a rotary kiln, and an annular cooler (GKC). A comparative calculation of the specific surface and volume capacities of industrial pelletizers of various types and sizes is performed. It is shown that factors that reduce the need for a layer in an external coolant and increase its gas permeability increase the productivity of the zones and the calcining unit as a whole. A formula has been derived for calculating the specific surface productivity of a rotary kiln for pellet burning at a GKC facility.

The practical significance of the work consists in obtaining specific values of the specific surface and volume capacities of industrial pelletizers of various types, as well as specific surface capacities of GKC facilities, which allows making more informed decisions in the development of feasibility studies and technological assignments for the design of new plants for the production of oxidized iron ore pellets.

Results of the work. A continuous increase in the world volume of production of iron ore pellets is shown as extensive (commissioning of new aggregates for the production of pellets and new pelletizing factories) and intensive (improving the technologies and equipment used) in ways. It was established that the average intensity of the pelletization process in the pelletized pelletizers is 4.2 times higher than in the drum-type pelletizers; that the general aggregate intensity of heat treatment of raw pellets at GKC facilities is 0.34-0.45 t/(m² hr), which is only 26-37 % of the best values of the heat treatment of pellets on conveyor-type kilns.

Keywords: intensity, process, pelletizing, calcination, specific productivity, pellets

УДК 627.132:504.06

Малачук Є.З., Васильчук О.Ю., Волк П.П., Засць В.В., Семенюк В.В. Оцінка рівня екологічної безпеки в межах зберігання гірничих відходів фосфогіпсу

Мета. Метою є оцінка рівня екологічної безпеки за рахунок дослідження забруднення токсичними відходами, що зберігаються у відвалах ПАТ «Рівнеазот», що призводить до забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод, негативно впливає на здоров'я населення. Враховуючи масштаби і значимість проблеми промислових відходів в Україні, існує необхідність в обґрунтуванні параметрів локалізації забруднення підземних вод і розробці інженерних методів спрямованих на покращення екологічної ситуації, та зменшення захворюваності населення в межах впливу відвалів гірничого виробництва.

Методи дослідження. Для виконання досліджень використано комплексний метод досліджень, що включає наукове узагальнення та систематизацію. Експериментальний метод використовувався для виявлення забруднення шкідливими та токсичними речовинами в ґрунтовому масиві на ґрунтових водах. Методи регресійного та кореляційного аналізу – для встановлення залежностей між забрудненням і відстанню до джерела забруднення та глибиною накопичення шкідливих речовин.

Наукова новизна. Основним чинником, який спричиняє забруднення, є фільтрація ґрунтових вод з території техногенних родовищ, про що свідчить забрудненість ґрунту вище рівня ґрунтових вод. Вміст забруднення в ґрунті залежить від рівноваги концентрації, залишкової сорбції та лінійної концентрації забруднення.

Практична значимість. Розроблена сучасна методика для встановлення вмісту шкідливих речовин в ґрунті та ґрунтових водах від зберігання відходів фосфогіпсу ПАТ «Рівнеазот».

Результати. Результатом роботи є залежності вмісту сухого залишку солей шкідливих речовин від довжини створу та від відстані створу до об'єкта за глибиною відбору зразка, та залежності вмісту фосфору, заліза, нітратів, марганцю, мікроелементів від довжини створу на глибинах до 6 м. Використання при обґрунтуванні параметрів технічних заходів екологізації підземних вод, дає підстави для подальшої розробки методик для розрахунку різних параметрів, так і для побудови нових підходів до вирішення проблем забруднення ґрунтових і поверхневих вод точковими об'єк-

тами, які б враховували дифузійний переніс забруднення, сорбційну здатність порід.

Ключові слова: екологічна безпека, гірничі відходи, фосфогіпс, шкідливі речовини, токсичні речовини, ґрунт, ґрунтові води, проба ґрунту, свердловина.

Маланчук Е.З., Васильчук О.Ю., Волк П.П., Заец В.В., Семенюк В.В. Оценка уровня экологической безопасности в рамках хранения горных отходов фосфогипса

Цель. Целью является оценка уровня экологической безопасности за счет исследования загрязнения токсичными отходами, которые хранятся в отвалах ОАО «Ривнеазот», что приводит к загрязнению почв, поверхностных и подземных вод, негативно влияет на здоровье населения. Учитывая масштабы и значимость проблемы промышленных отходов в Украине, существует необходимость в обосновании параметров локализации загрязнения подземных вод и разработке инженерных методов направленных на улучшение экологической ситуации, и уменьшение заболеваемости населения в пределах влияния отвалов горного производства.

Методы исследования. Для выполнения исследований использован комплексный метод исследований, включающий научное обобщение и систематизацию. Экспериментальный метод использовался для выявления загрязнения вредными и токсичными веществами в ґрунтовом массиве на ґрунтовых водах. Методы регрессионного и корреляционного анализа - для установления зависимостей между загрязнением и расстоянием до источника загрязнения и глубиной накопления вредных веществ.

Научная новизна. Основным фактором, который вызывает загрязнение, является фильтрация ґрунтовых вод с территории техногенных месторождений, о чем свидетельствует загрязненность почвы выше уровня ґрунтовых вод. Содержание загрязнения в почве зависит от равновесия концентрации, остаточной сорбции и линейной концентрации загрязнения.

Практическая значимость. Разработана современная методика для установления содержания вредных веществ в почве и ґрунтовых водах от хранения отходов фосфогипса ОАО «Ривнеазот».

Результаты. Результатом работы являются зависимости содержания сухого остатка солей вредных веществ от длины створа и от расстояния створа к объекту по глубине отбора образца, и зависимости содержания фосфора, железа, нитратов, марганца, микроэлементов от длины створа на глубинах до 6 м. Использование при обосновании параметров технических мероприятий экологизации подземных вод, дает основания для дальнейшей разработки методик для расчета различных параметров, так и для построения новых подходов к решению проблем загрязнения ґрунтовых и поверхностных вод точечный и объектами, которые учитывали диффузный перенос загрязнения, сорбционной способности пород.

Ключевые слова: экологическая безопасность, горные отходы, фосфогипс, вредные вещества, токсичные вещества, почву, ґрунтовые воды, проба почвы, скважина.

Malanchuk Ye.Z., Vasylichuk O.Iu., Volk P.P., Zaiets V.V., Semeniuk V.V. Evaluation of environmental safety in the storage of phosphogypsum wastes

Purpose. The aim is to assess the level of environmental safety by studying the pollution of toxic wastes stored in the dumps of PJSC "Rivneazot", which leads to contamination of soils, surface and groundwater, adversely affects the health of the population. Taking into account the scale and significance of the industrial waste problem in Ukraine, there is a need to justify the parameters of localization of groundwater contamination and the development of engineering methods aimed at improving the ecological situation and reducing the morbidity of the population within the influence of mining waste dumps.

Research methods. To conduct research, a comprehensive method of research has been used, including scientific generalization and systematization. The experimental method was used to detect contamination by harmful and toxic substances in the soil massif on groundwater. Methods of regression and correlation analysis - to determine the relationship between pollution and distance to the source of pollution and the depth of accumulation of harmful substances.

Scientific novelty. The main factor causing pollution is the filtration of groundwater from the territory of man-made deposits, as shown by soil contamination above the groundwater level. The content of soil contamination depends on concentration equilibrium, residual sorption and linear concentration of contamination.

Practical meaningfulness. A modern methodology for determining the content of harmful substances in soil and groundwater from the storage of phosphogypsum waste at PJSC "Rivneazot" has been developed.

Results. The result of the work is the dependence of the content of the dry residue of the salts of harmful substances on the length of the structure and on the distance of the structure to the object at the depth of sampling, and the dependence of the content of phosphorus, iron, nitrates, manganese, trace elements on the length of the structure at depths of up to 6 m. Use in substantiation parameters of technical measures of environmentalization of groundwater, gives grounds for further development of methods for calculating various parameters, and for the construction of new approaches to solving problems of contamination of soil and surface water points and objects, which would take into account the diffusion suffered contamination sorption capacity rocks.

Keywords: ecological safety, mining waste, phosphogypsum, harmful substances, toxic substances, soil, groundwater, soil sample, well.

УДК 681.5:622.73

Швец Д.В. Автоматизоване керування процесом подрібнення магнетитових руд на основі визначення їх міцності
Мета. Розширення функціональних можливостей розробленої ТОВ "Рудпромгеофізика" (м.Кривий Ріг) інформаційно-виміральної системи ДЗМ-К, призначеної для контролю вмісту масової частки магнетиту в масі подрібненої руди на рухомій конвеєрній стрічці при її використанні для контролю вмісту магнітного заліза у вихідній руді рудо-збагачувальних фабрик гірничо-збагачувальних комбінатів. Створення алгоритму керування процесом подрібнення залізної руди з попереднім автоматичним визначенням міцності вихідної руди.

Метод. Розширення функціональних можливостей інформаційно-виміральної системи ДЗМ-К пропонується здійснити шляхом доповнення системи датчиком вмісту загального заліза, що дозволить визначати вміст як магнітного заліза, так і заліза загального в руді на рухомій конвеєрній стрічці, обчислювати співвідношення вмісту заліза магні-

тного до вмісту заліза загального в руді, що живить першу стадію подрібнення і класифікації, на підставі обчисленого співвідношення визначати міцність вихідної руди і коригувати подачу вихідної руди в млин з метою досягнення оптимальних показників подрібнюваності.

Наукова новизна. Запропоновано метод визначення подрібнюваності вихідної руди в живленні першої стадії подрібнення і класифікації на основі визначення співвідношення вмісту магнітного і загального заліза в ній. Розроблено функціональну схему та алгоритм керування процесом подрібнення залізної руди з попереднім автоматичним визначенням міцності вихідної руди.

Практична значимість. Проведені дослідження дозволять розширити функціональні можливості інформаційно-виміральної системи ДЗМ-К, застосування якої дасть можливість стабілізувати гранулометричний склад руди, що подається на першу стадію магнітної сепарації, за рахунок визначення міцності вихідної руди в живленні першої стадії подрібнення і класифікації. Застосування даної системи на рудозбагачувальних фабриках гірничо-збагачувальних комбінатів дозволить підвищити ефективність процесу подрібнення руди на першій стадії подрібнення і класифікації, зменшити втрати заліза в хвості збагачення на першій стадії магнітної сепарації і підвищити якість кінцевого продукту - концентрату.

Результати. Отримані результати створюють перспективи для подальших досліджень, спрямованих на реалізацію модернізованої інформаційно-виміральної системи ДЗМ-К.

Ключові слова: рудозбагачувальна фабрика, міцність, подрібнення, класифікація, магнітне залізо (магнетит), оперативний контроль.

Швец Д.В. Автоматизированное управление процессом измельчения магнетитовых руд на основе определения их прочности

Цель. Расширение функциональных возможностей разработанной ООО "Рудпромгеофизика" (г. Кривой Рог) информационно-измерительной системы ДЗМ-К, предназначенной для контроля содержания массовой доли магнетита в массе дробленой руды на движущейся конвейерной ленте при ее использовании для контроля содержания магнитного железа в исходной руде рудообогатительных фабрик горно-обогатительных комбинатов. Создание алгоритма управления процессом измельчения железной руды с предварительным автоматическим определением прочности исходной руды.

Метод. Расширение функциональных возможностей информационно-измерительной системы ДЗМ-К предлагается осуществить путем дополнения системы датчиком содержания общего железа, что позволит определять содержание как магнитного железа, так и железа общего в руде на движущейся конвейерной ленте, вычислять соотношение содержания железа магнитного к содержанию железа общего в руде, питающей первую стадию измельчения и классификации, на основании вычисленного соотношения определять прочность исходной руды и корректировать подачу исходной руды в мельницу с целью достижения оптимальных показателей измельчивости.

Научная новизна. Предложен метод определения измельчивости исходной руды в питании первой стадии измельчения и классификации на основе определения соотношения содержания магнитного и общего железа в ней. Разработаны функциональная схема и алгоритм управления процессом измельчения железной руды с предварительным автоматическим определением прочности исходной руды.

Практическая значимость. Проведенные исследования позволят расширить функциональные возможности информационно-измерительной системы ДЗМ-К, применение которой даст возможность стабилизировать гранулометрический состав руды, подаваемой на первую стадию магнитной сепарации, за счет определения прочности исходной руды в питании первой стадии измельчения и классификации. Применение данной системы на рудообогатительных фабриках горно-обогатительных комбинатов позволит повысить эффективность процесса измельчения руды на первой стадии измельчения и классификации, уменьшить потери железа в хвосты обогащения на первой стадии магнитной сепарации и повысить качество конечного продукта - концентрата.

Результаты. Полученные результаты создают перспективы для дальнейших исследований, направленных на реализацию модернизированной информационно-измерительной системы ДЗМ-К.

Ключевые слова: рудообогатительная фабрика, прочность, измельчение, классификация, магнитное железо (магнетит), оперативный контроль.

Shvets D.V. Automated control of the magnetite ore mining process based on the determination of its strength

Purpose. Expansion of the functional capabilities of the information measuring system DZM-K developed by LTD Rudpromgeofizika (Krivyy Rih) designed to control of mass fraction content of magnetite in the crushed ore mass on a moving conveyor belt when it is used for control of magnetic iron content in the initial ore of ore-dressing plants. Creation of the algorithm for controlling iron grinding process ore with preliminary automatic determination of the strength of the initial ore.

Method. The expansion of the functional capabilities of the information-measuring system of the DZM-K was proposed to be carried out by completing the system with a gauge of the common iron content, which will allow to determine the content of both magnetic iron and the common iron on a moving conveyor belt, to calculate the ratio of magnetic iron content to common iron content in the ore that feeds the first stage of grinding and classification, on the basis of the calculated ratio, determine the strength of the initial ore and adjust the supply of the initial ore to the mill with the aim of achieving optimum grindability.

Scientific novelty. The method for determining the grindability of initial ore in feeding of the first stage of grinding and classification based on the determination of the ratio of magnetic content and general iron in it was proposed. The functional scheme and algorithm for controlling the iron grinding process ore with a preliminary automatic determination of the durability of the original ore are developed.

Practical significance. Researches will allow to expand the functional capabilities of the information-measuring system DZM-K. It's using will allow to stabilize the grand composition on the ore feed of the first stage of magnetic separation by determining the strength of the initial ore in the feed of the first stage of grinding and classification. The application of this system at the ore-dressing plants will increase the efficiency of the ore grinding process in the first stage of grinding and

classification, reduce iron losses in tails of enrichment on the first stage of magnetic separation, and improve the quality of the final concentrate product.

Results. The obtained results create prospects for further research aimed at the implementation of the modernized information-measuring system of the DZM-K.

Keywords: ore-dressing plant, strength, grinding, classification, magnetic iron (magnetite), operational control.

УДК 005.521:553.044

Шолох М.В. Ефективність методів прогнозування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах

Мета. Розглянути геостатистичні методи оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах (дискретний, випадковий і універсальний крайгінг) як ефективні по точності в умовах геологічної і статистичної однорідності блоків, які оцінюємо.

Методи дослідження. Оцінку блоків малого і великого розмірів з різним числом розвідувальних даних у блоках і за межами визначали по величині відносної похибки оцінок у порівнянні їх з фактично вимірними значеннями на відпрацьованих ділянках залістистих кварцитів родовищ. Порівняння по точності результатів застосування традиційних і геостатистичних методів при оцінці об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах не суперечить теорії оптимального статистичного оцінювання і може бути використана тільки для моделі мінливості показників або окремих її параметрів.

Наукова новизна. Запропонована модифікація крайгінга – індикаторний крайгінг, який дозволяє одержати ефективну геостатистичну оцінку об'ємно-якісних показників корисних копалин, зменшити зсув оцінок об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах і в блоках, які складенні різнотипними корисними копалинами.

Практична значимість. Оцінки середнього значення об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах базуються як на дослідженні мінливості ознак, так і на аналізі геометричних характеристик блоків рудного тіла, параметрів розвідувальних мереж. Як показують розрахунки, для малих блоків рудного тіла досить залучити для оцінки три – шість найближчих проб. У цьому випадку для регулярних мереж опробування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах розрахунки коефіцієнтів будуть проведені заздалегідь для найбільш типових конфігурацій взаємного розташування блоку і проб, які беруть участь в оцінці.

Результати. Розглянуті дискретний, випадковий і універсальний крайгінг оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах більш ефективні по точності в умовах геологічної і статистичної однорідності блоків, що оцінюємо. Запропонована модифікація крайгінга – індикаторний крайгінг, який дозволяє одержати ефективну геостатистичну оцінку об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах і в блоках, що складенні різнотипними корисними копалинами. Сутність методу полягає в тому, що поряд зі звичайними варіограмами вмістів якісних показників для кожного типу корисних копалин будують індикаторні варіограми.

Ключові слова: надра, запаси, блоки, об'ємно-якісні показники, крайгінг оцінки, індикаторні варіограми.

Шолох Н.В. Эффективность методов прогнозирования объемно-качественных показателей полезных ископаемых в недрах

Цель. Рассмотреть геостатистические методы оценки объемно-качественных показателей полезных ископаемых в недрах (дискретный, случайный и универсальный крайгинг) как эффективные по точности в условиях геологической и статистической однородности блоков, которые оцениваем.

Методы исследования. Оценку блоков малого и большого размеров с различным числом разведывательных данных в блоках и за пределами определяли по величине относительной погрешности оценок в сравнении их с фактически измеренным значением на отработанных участках месторождений железистых кварцитов. Сравнение по точности результатов применения традиционных и геостатистических методов при оценке объемно-качественных показателей полезных ископаемых в недрах не противоречащей теории оптимального статистического оценивания и может быть использована только для модели изменчивости показателей или отдельных ее параметров.

Научная новизна. Предложенная модификация крайгинга – индикаторный крайгинг, который позволяет получить эффективную геостатистическую оценку объемно-качественных показателей полезных ископаемых, уменьшить смещение оценок объемно-качественных показателей полезных ископаемых в недрах и в блоках, которые составлены разнотипными полезными ископаемыми.

Практическая значимость. Оценки среднего значения объемно-качественных показателей полезных ископаемых в недрах базируются как на исследовании изменчивости признаков, так и на анализе геометрических характеристик блоков рудного тела, параметров разведывательных сетей. Как показывают расчеты, для малых блоков рудного тела достаточно привлечь для оценки три – шесть ближайших проб. В этом случае для регулярных сетей опробования объемно-качественных показателей полезных ископаемых в недрах будут заранее проведены расчеты коэффициентов для наиболее типичных конфигураций взаимного расположения блока и проб, участвующих в оценке.

Результаты. Рассмотрены дискретный, случайный и универсальный крайгинг оценки объемно-качественных показателей полезных ископаемых в недрах более эффективные по точности в условиях геологической и статистической однородности блоков, которые оцениваем. Предложенная модификация крайгинга – индикаторный крайгинг, который позволяет получить эффективную геостатистическую оценку объемно-качественных показателей полезных ископаемых в недрах и в блоках, составленные разнотипными полезными ископаемыми. Сущность метода заключается в том, что наряду с обычными вариограммами содержания качественных показателей для каждого типа полезных ископаемых строим индикаторные вариограммы.

Ключевые слова: недра, запасы, блоки, объемно-качественные показатели, крайгинг оценки, индикаторные вариограммы.

Sholokh M.V. Efficiency of methods of forecasting of volumetric and qualitative indices of minerals in the subsoil.

Purpose. To consider geostatistical methods of estimation of volumetric and qualitative indices of minerals in the subsoil (discrete, random and universal edgegering) as effective in accuracy in terms of geological and statistical homogeneity of the units that we evaluate.

Research methods. The evaluation of blocks of small and large sizes with different numbers of intelligence data in blocks and outside was determined by the magnitude of the relative error of estimates in comparison with the actual measured values at the wasteed sections of ferrous quartzite deposits. Comparison of the accuracy of the results of the application of traditional and geostatistical methods for the estimation of volumetric and qualitative indices of minerals in the depths does not contradict the theory of optimal statistical estimation and can be used only for the model of variability of indicators or its individual parameters.

Scientific novelty. The proposed alteration of the edgging is an indicator marginalization, which allows obtaining an effective geostatistical estimation of volumetric qualitative indices of minerals, to reduce the shift of estimations of volumetric and qualitative indices of minerals in the subsoil and in blocks that are composed of various types of minerals.

Practical significance. Estimates of the average value of volumetric and qualitative indices of minerals in the depths are based both on the study of the variability of features, and on the analysis of the geometric characteristics of the blocks of the ore body, the parameters of the reconnaissance networks. As calculations show, for small blocks of an ore body it is enough to attract for evaluation three to six nearest samples. In this case, for regular networks testing of volumetric and qualitative indices of minerals in the depths, calculations of the coefficients will be made in advance for the most typical configurations of the mutual arrangement of the block and samples that participate in the assessment.

Results. Considered discrete, random and universal eragging estimation of volumetric-qualitative indices of minerals in the subsoil are more effective in accuracy in terms of geological and statistical homogeneity of evaluated units. The proposed edgege modification is an indicator marginalization, which allows obtaining an effective geostatistical estimation of volumetric and qualitative indices of minerals in the subsoil in the blocks composed of various types of minerals. The essence of the method lies in the fact that, along with the usual variograms of the contents of qualitative indicators for each type of mineral resources, we construct indicator variograms.

Keywords: mineral resources, reserves, blocks, volume-quality indicators, margin evaluation, indicator variograms.

УДК 620.9.001.32(477)

Сінчук О.М., Сінчук І. О., Берідзе Т.М. Аналіз факторів енергетичної безпеки України

Мета. Метою даної роботи є аналіз сучасного стану споживання палива Україною та виробництво електричної енергії; визначення факторів, що загрожують енергетичній безпеці України; дослідити шляхи усунення кризових явищ у енергетичному секторі.

Методи дослідження. Дослідження засноване на використанні законів, закономірностей і категоріальному апарату. У процесі наукового дослідження використовувалися загальнонаукові методи дослідження (порівняння, узагальнення, метод аналогій, структурний аналіз і синтез), прийоми логіко-теоретичного аналізу, спеціальні економіко - математичні методи. Нормативною базою дослідження послужили офіційні документи різних державних і урядових органів, що відображають і регламентують ті або інші аспекти системи енергобезпеки у рамках збору, обробки й представлення інформації. Як інформаційні джерела, використані законодавчі й нормативні акти, офіційні документи різних державних і урядових органів, що регулюють енергетичне забезпечення на території України, матеріали наукових конференцій і семінарів, ресурси глобальної інформаційної системи Інтернет, інформація Державної служби статистики України. Теоретичною основою досліджень, послужили наукові праці вітчизняних і закордонних дослідників в області енергетичної безпеки в умовах перехідної економіки.

Наукова новизна. Обумовлюється умовами високої залежності Української економіки від кон'юнктури, що складається в її енергетичному секторі. Існує необхідність розробки й утілення шляхів подолання загрозливих для економіки явищ, що є наслідками дисбалансів і криз в енергетиці.

Практична значимість. Досліджені фактори-складові енергетичної безпеки, що дозволить визначити відповідні рівні енергетичної безпеки, як складової економічного розвитку. Існує необхідність розробки й утілення шляхів подолання загрозливих для економіки явищ, що є наслідками дисбалансів і криз в енергетиці.

Результати. Проблеми, висвітлені в роботі, тісно пов'язані з науковими та практичними завданнями щодо ефективного використання та розподілу наявних енергетичних ресурсів, розвитку альтернативної енергетики. Україна є державою з високим рівнем розвитку енергетики. Сьогодні це один із регіональних лідерів у виробництві електричної енергії, вагомих гравець на світових ринках деяких палив (вугілля, урану).

Ключові слова: енергетика, ефективність, енергоємність, енергетична безпека, фактори, енергоресурси.

Синчук О.Н., Синчук И. О., Беридзе Т.М. Анализ факторов энергетической безопасности Украины

Цель. Целью данной работы является анализ современного состояния потребления топлива Украины и производство электрической энергии; определение факторов, угрожающих энергетической безопасности Украины; исследовать пути устранения кризисных явлений в энергетическом секторе.

Методы исследования. Исследование основано на использовании законов, закономерностей и категориальном аппарата. В процессе научного исследования использовались общенаучные методы исследования (сравнение, УЗА-гальнення, метод аналогій, структурний аналіз і синтез), приемы логико-теоретического анализа, специальные экономико - математические методы. Нормативной базой исследования послужили официальные документы различных государственных и правительственных органов, отражающие и регламентирующие те или иные аспекты системы энергобезопасности в рамках сбора, обработки и представления информации. Как информационные источники, использованные законодательные и нормативные акты, официальные документы различных государственных и правительственных органов, регулирующих энергетическое обеспечение на территории Украины, материалы научных конференций и семинаров, ресурсы глобальной информационной системы Интернет, информация Государственной службы статистики Украины. Теоретической основой исследований послужили научные труды отечественных и зарубежных исследователей в области энергетической безопасности в условиях переходной экономики.

Научная новизна. Обуславливается условиями высокой зависимости Украинской экономики от конъюнктуры, складывающейся в ее энергетическом секторе. Существует необходимость разработки и воплощения путей преодоления угрожающих экономики явлений, являются следствием дисбалансов и кризисов в энергетике.

Практическая значимость. Исследованы факторы-составляющие энергетической безопасности, что позволит определить соответствующие уровни энергетической безопасности как составляющей экономического развития. Существует необходимость разработки и воплощения путей преодоления угрожающих экономики явлений, являются следствием дисбалансов и кризисов в энергетике.

Результаты. Проблемы, освещенные в работе, тесно связанные с научными и практическими задачами по эффективному использованию и распределению имеющихся энергетических ресурсов, развития альтернативной энергетики. Украина является государством с высоким уровнем развития энергетики. Сегодня это один из региональных лидеров в производстве электрической энергии, весомый игрок на мировых рынках некоторых топлив (угля, урана).

Ключевые слова: энергетика, эффективность, энергоёмкость, энергетическая безопасность, факторы, энергоресурсы.

Sinchuk O.N., Sinchuk I.O., Beridze T.M. Analysis of energy security factors of Ukraine

The **purpose** of this work is to analyze the current state of fuel consumption in Ukraine and the production of electricity; identification of factors that threaten Ukraine's energy security; to explore ways of eliminating crisis phenomena in the energy sector.

Methods of research. The study is based on the use of laws, regularities and categorical aparat. In the process of scientific research, general scientific methods of research (comparison, UGA-galenne, method of analogies, structural analysis and synthesis), methods of logical-theoretical analysis, special economic-mathematical methods were used. The normative base of the study was the official documents of various state and governmental bodies reflecting and regulating certain aspects of the energy security system in the collection, processing and presentation of information. As information sources, legislative and normative acts used, official documents of various state and governmental bodies regulating energy supply in Ukraine, materials of scientific conferences and seminars, resources of the global Internet information system, information of the State Statistics Service of Ukraine. The theoretical basis of the research was the scientific works of domestic and foreign researchers in the field of energy security in a transition economy.

Scientific novelty. It is conditioned by the conditions of high dependence of the Ukrainian economy on the conjuncture that develops in its energy sector. There is a need to develop and implement ways to overcome the threatening economy of phenomena, are the result of imbalances and crises in the energy sector.

Practical significance. Factors-components of energy security have been studied, which will allow determining the appropriate levels of energy security as a component of economic development. There is a need to develop and implement ways to overcome the threatening economy of phenomena, are the result of imbalances and crises in the energy sector.

Results. The problems highlighted in the work are closely related to the scientific and practical tasks on effective use and distribution of available energy resources, development of alternative energy. Ukraine is a country with a high level of energy development. Today, it is one of the regional leaders in the production of electrical energy, a significant player in the world markets of certain fuels (coal, uranium).

Keywords: energy, efficiency, energy intensity, energy security, factors, energy resources.

УДК 622.012: 005.71

Жуков С.А., Луценко С.А. Перераспределение производительности группы карьеров, входящих в состав горно-обогатительного комбината

Цель. Усовершенствовать научно-методическую база в области проектирования и планирования открытых горных работ путем разработки новых и корректировки существующих методов планирования развития горных работ и определения главных параметров карьеров, которые должны учитывать изменение интенсивности отработки месторождений в течение продолжительных периодов в зависимости от спроса на железорудную продукцию.

Методика. В основу стратегии развития горных работ положена идея: производительность горного предприятия должна корректироваться в соответствии с изменяющимися внешними условиями на протяжении всего срока его эксплуатации. При этом производительность каждого карьера, входящего в состав горно-обогатительного комбината следует определять исходя из наибольшей эффективности работы ГОКа.

Реализация этой идеи осуществлялась за счет разработки методики перераспределения производительности группы карьеров, входящих в состав горно-обогатительного комбината, которая учитывает взаимосвязь режима горных работ и производительности по руде при изменении потребности в железорудной продукции.

Результаты. Разработана методика определения производительности группы карьеров, входящих в состав горно-обогатительного комбината, которая учитывает взаимосвязь режима горных работ и производительности по руде при изменении потребности в железорудной продукции.

Научная новизна. Предложенная методика позволяет адаптировать горные производства, к меняющимся условиям рынка и при этом, в отличие от существующих методик учитывает взаимосвязь режима горных работ и производительности карьера по руде.

Практическая значимость. Предложенная методика определения производительности группы карьеров, может использоваться на комбинатах при составлении годовой программы развития горных работ при изменении потребности в железорудной продукции. Доказано, что лучшим распределением производительности карьеров по руде в стратегии развития горных работ Северного ГОКа является вариант, когда Первомайский карьер работает с максимально возможной производительностью, а Анновский карьер обеспечивает производительность в 9 млн. т/год, которая необходима для выполнения стратеги комбината.

Ключевые слова: открытые горные работы, группа карьеров, производительность карьеров по руде, режим горных работ, стратегия развития горных работ.

Жуков С.О., Луценко С.О. Перерозподіл продуктивності групи кар'єрів, що входять до складу гірничозбагачувального комбінату

Мета. Вдосконалити науково-методичну базу в області проектування і планування відкритих гірничих робіт шляхом розробки нових і коригування існуючих методів планування розвитку гірничих робіт і визначення головних параме-

трів кар'єрів, які повинні враховувати зміну інтенсивності відпрацювання родовищ протягом тривалих періодів в залежності від попиту на залізорудну продукцію.

Методика. В основу стратегії розвитку гірничих робіт покладена ідея: продуктивність гірничого підприємства повинна коректуватися відповідно до мінливих зовнішніх умов протягом усього терміну його експлуатації. При цьому продуктивність кожного кар'єру, що входить до складу гірничо-збагачувального комбінату слід визначати виходячи з найбільшої ефективності роботи ГЗК.

Реалізація цієї ідеї здійснювалася за рахунок розробки методики перерозподілу продуктивності групи кар'єрів, що входять до складу гірничозбагачувального комбінату, яка враховує взаємозв'язок режиму гірничих робіт і продуктивності по руді при зміні потреби в залізорудній продукції

Результати. Розроблена методика визначення продуктивності групи кар'єрів, що входять до складу гірничозбагачувального комбінату, яка враховує взаємозв'язок режиму гірничих робіт і продуктивності по руді при зміні потреби в залізорудній продукції.

Наукова новизна. Запропонована методика дозволяє адаптувати гірничі виробництва, до мінливих умов ринку й при цьому, на відміну від існуючих методик ураховує взаємозв'язок режиму гірничих робіт і продуктивності кар'єру по руді.

Практична значимість. Запропонована методика визначення продуктивності групи кар'єрів, може використовуватись на комбінатах при складанні річної програми розвитку гірничих робіт при зміні потреби в залізорудній продукції. Доведено, що кращим розподілом продуктивності кар'єрів по руді в стратегії розвитку гірничих робіт Північного ГЗКу є варіант, коли Першотравневий кар'єр працює з максимально можливою продуктивністю, а Ганнівський кар'єр забезпечує продуктивність в 9 млн. т/рік, яка необхідна для виконання стратегії комбінату.

Ключові слова: відкриті гірничі роботи, група кар'єрів, продуктивність кар'єрів по руді, режим гірничих робіт, стратегія розвитку гірничих робіт.

Zhukov S.A., Lutsenko S.A. Rearrangement of performance of the group of open pits, included in the mining and processing plant

Purpose. To improve the scientific and methodological base in the field of designing and planning of open mining works by developing new and correcting existing methods for planning the development of mining works and determining the main parameters of the open pits, that must take into account the change in the intensity of mining the deposits during extended periods, depending on the demand for iron ore products.

Methodology. Core of the mining operation development strategy has the following idea: the productivity of mine is to be adjusted to varying external conditions during its entire life time. At the same time, the productivity of each open pit, that is a part of mining and processing plant, should be determined on the basis of the maximum efficiency of the MPP work.

This idea realization was done by developing the productivity reallocation methodology for the group of open pits which are the part of one mining & beneficiation plant. This methodology considers interrelation between mining operations and ore extraction when iron ore product demand is varied.

Results. There was a methodology developed for mines (which belong to one Plant) productivity determination which considers the interrelation between mining operations mode and ore mining volumes along with iron ore product demand variation.

Scientific actuality. Current methodology allows to adjust mining operations to different market terms and, contrary to existing methodologies, this one includes interrelation between mining operation mode and ore extraction productivity.

Practical relevance. The proposed methodology for mines group productivity determination may be used at Plants when developing an annual mining operations program along with iron concentrate demand variation. It is proved that the best reallocation of ore extraction productivity in the strategy of Severnyi GOK mining operations is the option when Pervomaysk mine operates with the maximum productivity and Annovsk mine ensures productivity of 9 m.t/y which is required to complete the strategy of Plant.

Keywords: open-cast mining; mines group; open pits productivity for ore mining, mining operations mode, mining operations development strategy

УДК 004.89: 621.311.161

Азарян А.А., Когов І.А. Структурно-логічна модель фактів як засіб репрезентації характеристик компонентів електроенергетичних систем

Метою статті є виклад результатів розробки формальної структурно-логічної моделі фактів як однієї з форм подання знань в системах штучного інтелекту. В роботі розглядається використання форм подання професійних знань для автоматизації прийняття управлінських рішень в нормальних і кризових ситуаціях в енергосистемах. Здійснюється обґрунтування використання формально-лінгвістичного підходу до подання знань у вигляді фактів в системах підтримки рішень при зазначенні характеристик електротехнічного обладнання енергосистем. Структурно-логічна модель, яка пропонується, може використовуватися при реалізації логічного висновку. Теоретична розробка і практичне впровадження моделі фактів як засобу репрезентації характеристик компонентів електроенергетичних систем в системах підтримки рішень є актуальною науковою проблемою.

У роботі використані **методи** теорії множин, математичної логіки, формальної лінгвістики, електроенергетичних систем, теорії графів, математичної статистики.

Наукова новизна полягає у новій моделі подання професійних знань у вигляді фактів, яка спирається на еволюційне наслідування онтології подання знань як атомарних висловлювань. Це дає можливість їх ієрархічного узагальнення, застосування єдиних евристик до різних структур представлення знань. Розроблені моделі, підходи і методики інваріантні по відношенню до професійних галузей і мають високий ступінь універсальності. Запропоновано єдиний системно-діалектичний підхід до подання та аналізу знань. Розроблено єдині евристики стосовно як до окремих компонентів знань, так і їх мережевих структур.

Практична значимість роботи полягає у вдосконаленні автоматизації керування промисловими об'єктами шляхом впровадження запропонованої моделі подання знань у вигляді фактів в практику побудови баз знань при ліквідації

кризових ситуацій в електроенергетичних системах. Ця обставина дозволить скоротити збитки і підвищити якість управління обладнанням і технологічними процесами промислових об'єктів.

Результатами роботи є єдиний системно-діалектичний підхід до інкорпорації подання професійних знань. Запропонована структурно-логічна модель фактів як засіб репрезентації характеристик компонентів електроенергетичних систем, яка являє собою структурну компоненту загальної ієрархічної системи подання професійних знань. Розроблена формальна модель подання фактів на рівні графів і рівні формального мови. Створена формальна модель онтології, яка регламентує механізм побудови баз знань декларативного характеру. Показано приклад практичного професійного застосування розроблених математичних моделей.

Ключові слова: енергосистема, формальна лінгвістика, факт, онтологія, евристика, база знань, інкорпорація

Азарян А.А., Котов И.А. Структурно-логическая модель фактов как средство репрезентации характеристик компонентов электроэнергетических систем

Целью статьи является изложение результатов разработки формальной структурно-логической модели фактов, как одной из форм представления знаний в системах искусственного интеллекта. В работе рассматривается использование форм представления профессиональных знаний для автоматизации принятия управленческих решений в нормальных и кризисных ситуациях в энергосистемах. Осуществляется обоснование использования формально-лингвистического подхода к представлению знаний в виде фактов в системах поддержки решений при указании характеристик электротехнического оборудования энергосистем. Предлагаемая структурно-логическая модель может использоваться при реализации логического вывода. Теоретическая разработка и практическое внедрение модели фактов, как средства репрезентации характеристик компонентов электроэнергетических систем в системах поддержки принятия решений, является актуальной научной проблемой.

В работе использованы **методы** теории множеств, математической логики, формальной лингвистики, электроэнергетических систем, теории графов, математической статистики.

Научная новизна заключается в новой модели представления профессиональных знаний в виде фактов, опирающаяся на эволюционное наследование онтологии представления знаний как атомарных высказываний. Это дает возможность их иерархического обобщения, применения единых эвристик в различных структурах представления знаний. Разработанные модели, подходы и методики инвариантны по отношению к профессиональным отраслям и обладают высокой степенью универсальности. Предложен единый системно-диалектический подход к представлению и анализу знаний. Разработаны единые эвристики применительно как к отдельным компонентам знаний, так и к их сетевым структурам.

Практическая значимость работы заключается в совершенствовании автоматизации управления промышленными объектами путем внедрения предложенной модели представления знаний в виде фактов в практику построения баз знаний при ликвидации кризисных ситуаций в электроэнергетических системах. Это обстоятельство позволит сократить убытки и повысить качество управления оборудованием и технологическими процессами промышленных объектов.

Результатами работы является единый системно-диалектический подход к инкорпорации представления профессиональных знаний. Предложена структурно-логическая модель фактов как средство репрезентации характеристик компонентов энергосистем, которая представляет собой структурную компоненту общей иерархической системы представления профессиональных знаний. Разработана формальная модель представления фактов на уровне графов и уровне формального языка. Создана формальная модель онтологии, регламентирующей механизм построения баз знаний декларативного характера. Показан пример практического профессионального применения разработанных математических моделей.

Ключевые слова: энергосистема, формальная лингвистика, факт, онтология, эвристика, база знаний, инкорпорация
Azarian A.A., Kotov I.A. Structural-logical model of facts as a means of representation characteristics of electric power systems components

The **purpose** of the article is to present the results of developing a formal structural-logical model of facts as one of the forms of knowledge representation in artificial intelligence systems. The paper considers the use of forms of representation of professional knowledge to automate the adoption of managerial decisions in normal and crisis situations in power systems. The substantiation of the use of the formal linguistic approach to the representation of knowledge in the form of facts in the decision support systems is indicated, while specifying the characteristics of the electrical equipment of the power systems. The proposed structural-logical model can be used in the implementation of logical inference. Theoretical development and practical implementation of a fact model, as a means of representing the characteristics of components of electric power systems in decision support systems, is an actual scientific problem.

The **methods** of set theory, mathematical logic, formal linguistics, electro-energy systems, graph theory, mathematical statistics were used in the work.

Scientific novelty consists in a new model of representation of professional knowledge in the form of facts, based on the evolutionary inheritance of the ontology of representing knowledge as atomic utterances. This gives the possibility of their hierarchical generalization, the use of unified heuristics in various structures of representation of knowledge. The developed models, approaches and methods are invariant with respect to professional branches and have a high degree of universality. A unified system-dialectical approach to the representation and analysis of knowledge is proposed. Single heuristics are developed for both individual components of knowledge and their network structures.

The **practical importance** of the work is to improve the automation of the management of industrial facilities by introducing the proposed model for presenting knowledge in the form of facts into the practice of building knowledge bases in the liquidation of crisis situations in electric power systems. This circumstance will allow to reduce losses and improve the quality of management of equipment and technological processes of industrial objects.

The **result of the work** is a unified system-dialectical approach to the incorporation of the representation of professional knowledge. A structural-logical model of facts is proposed as a means of representation of the characteristics of the components of power systems, which is a structural component of the general hierarchical system of representation of professional

knowledge. A formal model for presenting facts at the level of graphs and the level of a formal language has been developed. A formal model of ontology has been created, which regulates the mechanism for constructing knowledge bases of declarative nature. An example of practical professional application of the developed mathematic models is shown.

Keywords: power system, formal linguistics, fact, ontology, heuristics, knowledge base, incorporation

УДК 624.195

Тимченко Р.А., Попов С.О., Кришко Д.А., Мацышин С.О. Защитный экран из труб для тоннелей в городской застройке

Цель. Разработка защитного экрана из труб с линейно-подвижным соединением для сложных инженерно-геологических условий. В комплексе городских подземных сооружений особое место занимают тоннельные системы, к которым относятся транспортные тоннели, пешеходные тоннели, подземные многоярусные автостоянки и гаражи, коллекторные тоннели и др. Особой сложностью отличается строительство подземных тоннельных систем, расположенных в сложных инженерно-геологических и горно-геологических условиях, на подрабатываемых территориях. Основными требованиями при строительстве подобных сооружений являются исключение просадки, деформации поверхности и минимальное влияние строительного процесса на повседневную работу городской инфраструктуры.

Методы исследования. Для реализации поставленной цели использованы такие общенаучные методы, как: сравнение, анализ, наблюдение.

Научная новизна. Определена методика расчета и конструктивные особенности защитного экрана из труб, назначение которого состоит в предупреждении и минимизации деформаций и просадок поверхности, расположенной над сводом тоннеля в период его проходки и крепления.

Практическая значимость. Использование защитного экрана из труб при строительстве тоннелей позволит решить ряд проблем – разгрузить транспортные магистрали и узлы их пересечения, ускорить движение всех видов транспорта и пешеходов, а также снизить загазованность городской атмосферы.

Результаты. Приведена область применения тоннелей, примеры их проектирования, технология и организация строительства различными способами в инженерно-геологических и транспортных условиях в различные годы. Рассмотрены разновидности тоннелей, а также факторы, осложняющие, с геомеханической точки зрения, строительство подземных сооружений на подрабатываемых территориях и в сложных инженерно-геологических условиях Кривого Рога. Защитный экран из труб при строительстве подземных сооружений не требует больших экономических затрат и остановки движения транспорта при строительстве подземных транспортных сооружений (автодорожных тоннелей, пешеходных переходов), позволяет разгрузить дорожное движение уличной сети и обезопасить пешеходов. Поэтому при строительстве тоннелей на застроенных городских территориях, а также при пересечении железнодорожных и автодорожных магистралей применяют защитные экраны, устраиваемые по технологии опережающей крепи.

Ключевые слова: тоннель, защитный экран из труб, подземные сооружения, строительство.

Тімченко Р.О., Попов С.О., Кришко Д.А., Мацышин С.О. Захисний екран із труб для тунелю в міській забудові

Мета. Розробка захисного екрану з труб з лінійно-рухомим з'єднанням для складних інженерно-геологічних умов. У комплексі міських підземних споруд особливе місце займають тунельні системи, до яких відносяться транспортні тунелі, пішохідні тунелі, підземні багатоярусні автостоянки та гаражі, колекторні тунелі та ін. Особливою складністю відрізняється будівництво підземних тунельних систем, розташованих в складних інженерно-геологічних і гірничо-геологічних умовах, на підроблюваних територіях. Основними вимогами при будівництві подібних споруд є запобігання просадки, деформації поверхні і мінімальний вплив будівельного процесу на повсякденну роботу міської інфраструктури.

Методи дослідження. Для реалізації поставленої мети використані такі загальнонаукові методи, як: порівняння, аналіз, спостереження.

Наукова новизна. Визначено методику розрахунку та конструктивні особливості захисного екрану з труб, призначення якого полягає в попередженні та мінімізації деформацій і осідань поверхні, розташованої над склепінням тунелю в період його проходки і кріплення.

Практична значимість. Використання захисного екрану з труб при будівництві тунелів дозволить вирішити ряд проблем – розвантажити транспортні магистралі і вузли їх перетину, прискорити рух всіх видів транспорту і пішоходів, а також знизити загазованість міської атмосфери.

Результати. Наведено область застосування тунелів, приклади їх проектування, технологія і організація будівництва різними способами, в інженерно-геологічних і транспортних умовах в різні роки. Розглянуто різновиди тунелів, а також фактори, що ускладнюють, з геомеханічної точки зору, будівництво підземних споруд на підроблюваних територіях і в складних інженерно-геологічних умовах Кривого Рогу. Захисний екран з труб при будівництві підземних споруд не вимагає великих економічних витрат і зупинки руху транспорту при будівництві підземних транспортних споруд (автодорожних тунелів, пішохідних переходів), дозволяє розвантажити дорожній рух вуличної мережі та забезпечити пішоходів. Тому при будівництві тунелів на забудованих міських територіях, а також при пересеченні залізничних і автодорожних магистралей застосовують захисні екрани, які влаштовуються по технології випереджаючого кріплення.

Ключові слова: тунель, захисний екран з труб, підземні споруди, будівництво.

Timchenko R.A., Popov S.O., Krishko D.A., Macyshin S.O. Protective screen from tubes for tunnels in urban building

Purpose. Development of a protective screen made of pipes with a linear-mobile connection for complex engineering and geological conditions. Tunnel systems, especially transport tunnels, pedestrian tunnels, underground multi-tiered parking lots and garages, collector tunnels, etc. occupy a particularly important place in the complex of urban underground structures. The construction of underground tunnel systems located in complex engineering geological and mining-geological conditions, in

the work areas. The main requirements for the construction of such structures are the exclusion of subsidence, deformation of the surface and the minimal impact of the construction process on the daily work of urban infrastructure.

Research methods. For realization of the set goal the following general scientific methods such as comparison, analysis, observation are used.

Scientific novelty. The method of calculation and design features of a protective screen from pipes, the purpose of which is to prevent and minimize deformations and deposition of the surface, located above the vault of the tunnel during its penetration and fastening are defined.

Practical significance. The use of a protective screen made of pipes in the construction of tunnels will solve a number of problems - unload the transport arteries and their intersection points, accelerate the movement of all modes of transport and pedestrians, and reduce the gassed urban atmosphere.

Results. The area of application of tunnels, examples of their design, technology and organization of construction in various ways, in engineering-geological and transport conditions, in different years are given. The types of tunnels and factors that, from the geomechanical point of view, complicate the construction of underground structures in the underworking territories and in the complex engineering and geological conditions of Kryvyi Rih are considered. A protective screen made of pipes in the construction of underground structures does not require large economic costs and stopping movements transport in the construction of underground transport facilities (road tunnels, pedestrian crossings), allows to relieve road traffic of the street network and to protect pedestrians. Therefore, when building tunnels in built-up urban areas, as well as at the intersection of railroads and highways, protective screens are used, which are equipped with advanced fastening technology.

Keywords: tunnel, protective screen made of pipes, underground structures, construction.

УДК 004.032.26:004.93'12

Білашенко С.В., Шаповалова Н.Н., Рыбальченко О.Г. Розпізнавання зображень за допомогою згорткових нейронних мереж з використанням бібліотеки Keras

Мета роботи полягає у дослідженні архітектури глибокої згорткової нейронної мережі для розпізнавання зображень, розробці алгоритму її реалізації. В ході числового експерименту необхідно обґрунтувати підбір оптимальних гіперпараметрів експлуатації моделі: швидкості навчання, кількості шарів у мережі, кількості нейронів у прихованому шарі.

Методи. В ході дослідження використано метод аналізу вхідних даних, заснований на властивостях рецептивних полів біологічних нейронів, метод синтезу конвергуючих каскадів, що призводять до повноз'єднаних шарів штучної нейронної мережі, практичний метод використання певної архітектури моделі для розпізнавання зображень, емпіричний метод встановлення оптимальних значень основних гіперпараметрів навчання згорткової нейронної мережі.

Наукова новизна. Запропоновано алгоритм реалізації глибокої згорткової нейронної мережі, обґрунтовано вибір навчальної множини, що відповідає критерію достатньої репрезентативності, теоретично і практично обґрунтовано підбір оптимальних гіперпараметрів навчання мережі за критерієм якості експлуатації моделі.

Практична значимість виконаної роботи полягає в поліпшенні якості навчання глибоких згорткових нейронних мереж, розробці методики побудови програмної моделі системи розпізнавання зображень з використанням бібліотеки Keras для мови програмування Python 3, яка демонструє процес навчання і розпізнавання, а також дозволяє виконувати дослідження роботи згорткової нейронної мережі.

Результати. Розроблено структуру штучної згорткової нейромережі, запропоновано методику її навчання, обґрунтовано вибір навчальної вибірки. Запропоновано програмну модель згорткової нейронної мережі розпізнавання зображень на основі методів бібліотеки Keras, реалізовано мовою програмування Python 3, яка дозволила емпірично визначити основні оптимальні параметри навчання моделі такі як швидкість навчання, кількості шарів у мережі і кількості нейронів у прихованому шарі.

Ключові слова: згорткові нейронні мережі, глибоке навчання, розпізнавання зображень, архітектура глибоких згорткових нейронних мереж, бібліотека Keras, набір даних CIFAR-10.

Білашенко С.В., Шаповалова Н.Н., Рыбальченко Е.Г. распознавание изображений с помощью сверточных нейронных сетей с использованием библиотеки Keras

Цель работы заключается в исследовании архитектуры глубокой сверточной нейронной сети для распознавания изображений, разработке алгоритма ее реализации. В ходе численного эксперимента необходимо обосновать подбор оптимальных гиперпараметров эксплуатации модели: скорости обучения, количества слоев в сети, количества нейронов в скрытом слое.

Методы. В ходе исследования использован метод анализа входных данных, основанный на свойствах рецептивных полей биологических нейронов, метод синтеза конвергирующих каскадов, приводящих к полносвязным слоям искусственной нейронной сети, практический метод использования определенной архитектуры модели для распознавания изображений, эмпирический метод установления оптимальных значений основных гиперпараметров обучения сверточной нейронной сети.

Научная новизна. Предложен алгоритм реализации глубокой сверточной нейронной сети, обоснован выбор обучающего множества, что соответствует критерию достаточной репрезентативности, теоретически и практически обоснован подбор оптимальных гиперпараметров обучения сети по критерию качества работы модели.

Практическая значимость выполненной работы заключается в улучшении качества обучения глубоких сверточных нейронных сетей, разработке методики построения программной модели системы распознавания изображений с использованием библиотеки Keras для языка программирования Python 3, которая демонстрирует процесс обучения и распознавания, а также позволяет выполнять исследования работы сверточных нейронных сетей.

Результаты. Разработана структура искусственной сверточной нейросети, предложена методика её обучения, обоснован выбор обучающей выборки. Предложена программная модель сверточной нейронной сети распознавания изображений на основе методов библиотеки Keras, реализованной на языке программирования Python 3, которая

позволила емпірически определить основные оптимальные параметры обучения модели, такие как скорость обучения, количество слоев в сети и количество нейронов в скрытом слое.

Ключевые слова: свёрточные нейронные сети, глубокое обучение, распознавание изображений, архитектура глубоких свёрточных нейронных сетей, библиотека Keras, набор данных CIFAR-10.

Bilashenko S.V., Shapovalova N.N., Rybalchenko O.H. Image recognition by convolutional neural networks with using Keras library

Purpose. To explore the architecture of a deep convolutional neural network for image recognition, and to develop an algorithm for its implementation. To substantiate selection of the next optimal exploitation model hyperparameters in the course of a numerical experiment: learning speed, number of a layers in the network, number of a neurons in the hidden layer.

Methods. Entry data analysis method, based on the properties of receptive fields in biological neurons; method of converging cascades synthesis, that leading to fully connected layers of an artificial neural network; practical method of using concrete architecture model for image recognition; empirical method for establishing optimal values of the main hyperparameters of training a convolutional neural network.

Scientific novelty. An algorithm for implementing a deep convolutional neural network was proposed. In addition, there were theoretically and practically substantiated selection of optimal hyperparameters for training the network by the model quality criterion, and choice of a learning set, that corresponds to the criterion of sufficient representativeness.

The practical value of the work performed is in improving the training quality of deep convolutional neural networks and in developing methodic for constructing a software model of the image recognition system with using Keras library for Python 3 programming language, which demonstrates learning and recognition processes, and also allows to perform a research work of convolutional neural networks.

Results. The structure of an artificial convolutional neural network was developed, the method of its training was proposed, the choice of a training sample was justified. A software model of a convolutional neural network of image recognition based on the methods of the Keras library implemented in the Python 3 programming language was proposed. It allowed determining empirically the basic optimal parameters of the model's learning, such as the learning speed, the number of layers in the network, and the number of neurons in the hidden layer.

Keywords: convolutional neural networks, in-depth training, image recognition, architecture of deep neural networks, Keras library, CIFAR-10 data set.

УДК 622.807:621.928.9

Лапшин О. Є., Худик М. В. Огляд існуючих конструкцій пилоосаджувальних камер для очищення аспіраційного повітря

Мета. Метою даної роботи є аналіз існуючих конструктивних рішень при проектуванні пилоосаджувальних камер для знепилення аспіраційного повітря, яке видаляється від джерел виділення пилу. Переробка корисних копалин призводить до утворення та виділення у навколишнє середовище значної кількості промислового пилу. Для попередження поширення пилу у виробничих цехах, джерела виділення пилу обладнують аспіраційними укриттями, з яких запилене повітря видаляється до пилоочисних установок. Незадовільна робота пилоочисних агрегатів призводить до забруднення промислових майданчиків і території гірничо-збагачувальних комбінатів та шахт пилом погіршуючи санітарно-гігієнічні умови праці їх робітників

Методи дослідження. Використовувався аналіз та узагальнення літературних джерел, охоронних документів на винаходи та корисні моделі щодо типів та конструктивних рішень пилоосаджувальних камер для очищення аспіраційного повітря від пилу.

Наукова новизна. Розглянуто можливості підвищення ефективності пиловловлення промислового пилу з аспіраційного повітря пилоосаджувальними камерами за рахунок розміщення в них різних перешкод (горизонтальних або похилих полиць, напрямних пластин, вертикальних або горизонтальних перегородок, волоконних завіс та ін.) для подальшої розробки та дослідження нової конструкції пилоосаджувальної камери.

Практична значимість. Проведений аналіз показав, що на ефективність пиловловлення пилоосаджувальної камери можливо впливати не тільки зміною геометричних розмірів камери (довжини, поперечного перерізу), а і за рахунок зміни параметрів пилових часток (діаметра). За рахунок укрупнення пилових часток можна досягти збільшення швидкості їх витання (осадження) і підвищення ефективності роботи пилоосаджувальної камери при сталих її геометричних розмірах.

Результати. Проведені дослідження різних конструкцій пилоосаджувальних камер показали доцільність розробки нової конструкції пилоосаджувальної камери підвищеної ефективності з розміщеними в середині камери волоконними завісами з капрону та полівінілхлориду. Така конструкція камери для очищення аспіраційного повітря дозволить поліпшити санітарно-гігієнічні умови праці робітників гірничо-збагачувальних комбінатів та шахт.

Ключові слова: пилоосаджувальна камера, аспіраційне повітря, уловлення пилу, коагуляція, волоконні завіси.

Лапшин А. Е., Худик Н. В. Обзор существующих конструкций пылеосадительных камер для очистки аспирационного воздуха

Цель. Целью данной работы является анализ существующих конструктивных решений при проектировании пылеосадительных камер для обеспыливания аспирационного воздуха, которое удаляется от источников выделения пыли. Переработка полезных ископаемых приводит к образованию и выделению в окружающую среду значительного количества пылеобразующей пыли. Для предупреждения распространения пыли в производственных цехах, источники выделения пыли оборудуют аспирационными укритиями, из которых запыленный воздух удаляется в пылеочистные установки. Неудовлетворительная работа пылеочистных агрегатов приводит к загрязнению промышленных площадок и территории горно-обогатительных комбинатов и шахт пылью ухудшая санитарно-гигиенические условия труда их работников.

Методи дослідження. Використовувалися аналіз і обобщення літературних джерел, охоронних документів на винаходи і корисні моделі стосовно типів і конструктивних рішень пилоосадительних камер для очищення аспіраційного повітря від пилу.

Наукова новизна. Розглянуті можливості підвищення ефективності пилоуловлювання промислової пилу з аспіраційного повітря пилоосадительними камерами за рахунок розміщення в них різних перегородок (горизонтальних або нахилних полиць, направляючих пластин, вертикальних або горизонтальних перегородок, волоконних штор і др.) для подальшої розробки і дослідження нової конструкції пилоосадительної камери.

Практична значимість. Проведений аналіз показав, що на ефективність пилоуловлювання пилоосадительної камери можна впливати не тільки зміною геометричних розмірів камери (довжини, поперечного сечення), а й за рахунок зміни параметрів пилових частинок (діаметра). За рахунок укрупнення пилових частинок можливо досягти збільшення швидкості їх витягання (осадження) і підвищення ефективності роботи пилоосадительної камери при незмінних її геометричних розмірах.

Результати. Проведені дослідження різних конструкцій пилоосадительних камер показали доцільність розробки нової конструкції пилоосадительної камери підвищеної ефективності з розміщеними в середині камери волоконними шторами з капрону і полівинилхлориду. Така конструкція камери для очищення аспіраційного повітря дозволить покращити санітарно-гігієнічні умови праці працівників горнообогатительних комбінатів і шахт.

Ключові слова: пилоосадительна камера, аспіраційний повітря, уловлювання пилу, коагуляція, волоконні штори.

Lapshyn O. Ye., Khudyk M. V. Review of current constructions of dust-collecting chambers for cleaning aspiration air

Purpose. The purpose of this work is to analyze the existing design solutions in the design of dust-collecting chambers for dedusting aspirating air, which is removed from sources of dust. Processing of minerals leads to the formation and release into the environment of a significant amount of industrial dust. To prevent the spread of dust in production workshops, dust extraction sources are equipped with aspiration shelters, from which dusty air is removed to the dust-cleaning plants. Unsatisfactory work of dust-cleaning units leads to contamination of industrial sites and the territory of mining and processing plants and mines with dust, worsening the hygienic working conditions of their employees.

Methods of research. The analysis and generalization of the literature sources, security documents for inventions and useful models concerning the types and design solutions of the dust-collecting chambers for cleaning aspirating air from dust was used.

Originality. The possibilities of increasing the efficiency of dust collection of industrial dust from aspiration air by dust-settling chambers due to the placement of various obstacles (horizontal or inclined shelves, guide plates, vertical or horizontal partitions, fiber curtains, etc.) for further development and investigation of a new design of a dust-collecting chamber.

Practical value. The analysis showed that the efficiency of the dust collection of the dust-settling chamber can be influenced not only by changing the geometric dimensions of the chamber (length, cross section), but also by changing the parameters of the dust particles (diameter). Due to the enlargement of the dust particles, it is possible to achieve an increase in the rate of their precipitation (precipitation) and an increase in the efficiency of the dust-settling chamber, while its geometric dimensions are unchanged.

Findings. The carried out researches of various designs of dust precipitating chambers have shown expediency of development of a new design of a dust-precipitating chamber of increased efficiency with fiber curtains of caprone and polyvinyl chloride placed in the middle of the chamber. This design chamber for cleaning aspirating air will improve the sanitary and hygienic working conditions of workers in mining and processing plants and mines.

Keywords: dust-collecting chamber, aspirating air, dust trapping, coagulation, fiber curtains.

УДК 624.012.454

Валовой О.І., Єрмоєнко О.Ю., Валовой М.О., Волков С.О. Виготовлення зразків балок зі змішаним армуванням базальтовою та металевою арматурою

Мета. Дослідження факторів, які впливають на міцність, жорсткість та тріщиностійкість згинних конструкцій, армованих композитною арматурою. Визначення шляхів зниження деформативності таких конструкцій.

Методи дослідження. Аналіз наявних відомостей про напружено-деформований стан згинних конструкцій, армованих композитною арматурою.

Наукова новизна. Виконано дослідження сучасних результатів експериментальних випробувань згинних елементів, армованих композитною арматурою. Установлено, що такі конструкції мають підвищену деформативність. Розроблено програму експериментальних випробувань, запроєктовано та виготовлено зразки балок зі змішаним армуванням, а також металевою арматурою та базальтовою арматурою, окремо, для визначення відмінностей їх напружено-деформованого стану.

Практична значимість. Установлено, що композитна арматура не має перешкод для армування згинних конструкцій, виходячи з вимог за першою групою граничних станів. Деформативність та тріщиностійкість таких конструкцій потребує розроблення додаткових конструктивних заходів для задоволення вимог за другою групою граничних станів. Отримано дані про ефективність впливу збільшення відсотка армування перерізу композитною арматурою на зменшення прогинів та збільшення тріщиностійкості.

Результати. Визначено, що згинні елементи, армовані композитною арматурою, мають більшу несучу здатність, але меншу жорсткість порівняно з аналогічними конструкціями, армованими металевою арматурою. З'ясовано, що збільшення міцності бетону приводить тільки до підвищення несучої здатності таких конструкцій і не впливає на показники деформативності. Установлено, що збільшення відсотка армування впливає як на показники міцності, так і на жорсткість (зниження прогинів до 40%) конструкцій, армованих композитною арматурою. Підвищена міцність та хороші антикорозійні властивості дозволяють створювати вироби з високими експлуатаційними характеристиками, підвищувати надійність та довговічність будівель і споруд. З метою дослідження ефективності використання зміша-

ного армування для підвищення експлуатаційних показників балок, армованих базальтовою арматурою, було запроєктовано та виготовлено відповідні зразки балок, розроблено програму їх випробувань.

Ключові слова: композитна арматура, базальтова арматура, змішане армування, балка, міцність, жорсткість.

Валовой А.И., Ерёмко А.Ю., Валовой М.А., Валовой С.А. Волков Изготовление образцов балок со смешанным армированием базальтовой и металлической арматурой

Цель. Исследование факторов, влияющих на прочность, жесткость и трещиностойкость изгибаемых конструкций армированных композитной арматурой. Определение путей снижения деформативности таких конструкций.

Методы исследования. Анализ существующих сведений о напряженно-деформированном состоянии изгибаемых конструкций армированных композитной арматурой.

Научная новизна. Выполнены исследования современных результатов экспериментальных испытаний изгибаемых элементов армированных композитной арматурой. Установлено, что такие конструкции имеют повышенную деформативность. Разработана программа экспериментальных испытаний, запроектированы и изготовлены образцы балок со смешанным армированием, а также металлической арматурой и базальтовой арматурой, отдельно, для определения различий их напряженно-деформированного состояния.

Практическая значимость. Установлено, что композитная арматура не имеет препятствий для армирования изгибаемых конструкций исходя из требований по первой группе предельных состояний. Деформативность и трещиностойкость таких конструкций требует разработки дополнительных конструктивных мер для удовлетворения требований по второй группе предельных состояний. Получены данные об эффективности воздействия увеличения процента армирования сечения композитной арматурой на уменьшение прогибов и увеличения трещиностойкости.

Результаты. Определено, что изгибаемые элементы армированные композитной арматурой имеют большую несущую способность, но меньшую жесткость по сравнению с аналогичными конструкциями армированными металлической арматурой. Установлено, что увеличение прочности бетона приводит только к повышению несущей способности таких конструкций и не влияет на показатели деформативности. Установлено, что увеличение процента армирования влияет как на показатели прочности, так и на жесткость (снижение прогибов до 40%) конструкций армированных композитной арматурой. Повышенная прочность и хорошие антикоррозионные свойства позволяют создавать изделия с высокими эксплуатационными характеристиками, повышать надежность и долговечность зданий и сооружений. С целью исследования эффективности использования смешанного армирования для повышения эксплуатационных показателей балок армированных базальтовой арматурой, было запроектировано и изготовлены соответствующие образцы балок, разработана программа их испытаний.

Ключевые слова: композитная арматура, базальтовая арматура, смешанное армирование, балка, прочность, жесткость.

Valovoi O.I., Yeromenko O.Yu., Valovoi M.O., Volkov S.O. Manufacturing of the beams' samples with the mixed reinforcement using basalt and metal armature

Purpose. The research of the factors influencing on the durability, rigidity and crack resistance of the bending structures reinforced with the composite armature. The ways to reduce deformability of that sort of structures are worked out.

Research methods. The analysis of the existing data about the deformation mode of the bending structures reinforced with the composite armature.

Academic novelty. It is developed the research of the latest results of the experimental tests for the bending elements reinforced with the composite armature. It is stated that that sort of structures have the excessive deformability. The program of the experimental tests is worked out. To determine the deformation mode it was designed and manufactured separately the following kinds of the beams' samples with: the mixed reinforcement; the metal armature; the basalt armature.

Practical implications. It is stated that the composite armature does not have any barriers to reinforce the bending structures judging from the requirements by the first group of the edge states. The deformability and crack resistance of these structures needs the additional solutions of their application to meet the requirements by the second group of the edge states. The data were obtained about the efficiency of the influence. The more the percentage of the reinforcement of the composite armature cross-section is, the less are the deflections and the higher is the crack resistance.

Results. It is noted, that the bending elements reinforced with the composite armature have the higher bearing ability but the lower rigidity in comparison with that sort of structures reinforced with the metal armature. It is studied out, that the increasing of the concrete durability leads only to the increasing of the bearing ability of such structures and does not affect the deformability indices. It is clarified, that the percentage increasing of the reinforcement affects both the durability indices and rigidity of the structures reinforced with the composite armature (bendings reduction to 40%). Increased strength and good anticorrosive properties allow to create products with high performance characteristics, improve reliability and durability of buildings and structures. To research the efficiency of the mixed reinforcement to increase exploitation indices of the beams reinforced with the basalt armature it was designed and manufactured the following kinds of the beams' samples. The test program was worked out.

Keywords: composite armature, basalt armature, mixed reinforcement, beam, durability, rigidity.

УДК 378.371.4

Дворніков В.А., Мельниченко Н.П., Шамрай О.В. Методологічні проблеми вивчення фундаментальних та загальноінженерних дисциплін в умовах перебудови технічної освіти

Мета роботи є продовження дискусії щодо антикризових дій при вивченні фундаментальних та загальноінженерних дисциплін на прикладі дисциплін «Нарисна геометрія» та «Інженерна графіка». А також розкрити сутність зв'язку між сучасним станом методологічної парадигми загальноінженерних дисциплін та кризовими явищами у сприйнятті цих дисциплін в цілому на різних рівнях освіти. А також розробити рекомендації щодо забезпечення розвитку дисципліни в сучасній освіті.

Дослідження. Для досягнення поставленої мети використовувалися методи аналізу теорії та практики відомих теоретичних досягнень з даного питання. Виконано аналіз результатів анкетування студентів перших та других курсів.

Проаналізовано, як впливає рівень шкільної підготовки з дисципліни «Креслення» на подальшу якість навчання у вищому навчальному закладі.

Наукова новизна роботи полягає у дослідженні взаємозв'язку дисциплін, які викладаються у школі та дисциплінами, які будують фундамент інженерної підготовки сучасних фахівців, та їх вплив на якість освіти на прикладі дисциплін «Нарисна геометрія» та «Інженерна графіка». Проведено порівняльний аналіз системи освіти на прикладі країн з високим рівнем економічного зростання.

Практична значимість роботи полягає у розробці рекомендацій щодо розробки інтеграційних планів середньої та вищої школи з даної дисципліни, що на думку авторів приведе до покращення знань студентів. Визначено необхідність регульованого створення цілісної педагогічної платформи фундаментальних дисциплін та трансформації інженерної підготовки.

Результати. Проведені дослідження допомагають зрозуміти проблеми сучасної освіти, та розробити кроки по подоланню кризових явищ. Результати проведених досліджень допоможуть у розробці нової методології викладення фундаментальних і загально-інженерних дисциплін, що сприятиме розвитку логічного мислення та просторової уяви майбутніх фахівців.

Ключові слова: інженерна графіка, інженерна освіта, інженерна підготовка, методологія, фундаментальні дисципліни, анкетування, креслення, показники успішності.

Дворников В.А., Мельниченко Н.П., Шамрай О.В. Методологические проблемы изучения фундаментальных и общеинженерных дисциплин в условиях перестройки технического образования

Цель работы является продолжение дискуссии о антикризисных действиях при изучении фундаментальных и общеинженерных дисциплин на примере дисциплин «Начертательная геометрия» и «Инженерная графика». А также раскрыть сущность связи между современным состоянием методологической парадигмы общеинженерных дисциплин и кризисными явлениями в восприятии этих дисциплин в целом на различных уровнях образования. А также разработать рекомендации по обеспечению развития дисциплины в современном образовании.

Исследование. Для достижения поставленной цели использовались методы анализа теории и практики известных теоретических достижений по данному вопросу. Выполнен анализ результатов анкетирования студентов первых и вторых курсов. Проанализировано, как влияет уровень школьной подготовки по дисциплине «Черчение» на дальнейшее качество обучения в высшем учебном заведении. Научная новизна работы заключается в исследовании взаимосвязи дисциплин, преподаваемых в школе и дисциплин, которые строят фундамент инженерной подготовки современных специалистов, и их влияние на качество образования на примере дисциплин «Начертательная геометрия» и «Инженерная графика». Проведен сравнительный анализ системы образования на примере стран с высоким уровнем экономического роста.

Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций по разработке интеграционных планов средней и высшей школы по данной дисциплине, что по мнению авторов приведет к улучшению знаний студентов. Определена необходимость регулируемого создания целостной педагогической платформы фундаментальных дисциплин и трансформации инженерной подготовки.

Результаты. Проведенные исследования помогают понять проблемы современного образования, и разработать шаги по преодолению кризисных явлений. Результаты проведенных исследований помогут в разработке новой методологии изложения фундаментальных и общеинженерных дисциплин, способствовать развитию логического мышления и пространственного воображения будущих специалистов.

Ключевые слова: инженерная графика, инженерное образование, инженерная подготовка, методология, фундаментальные дисциплины, анкетирование, черчение, показатели успеваемости.

Dvornikov V.A., Melnychenko N.P., Shamrai O.V. Methodological problems of studying fundamental and general engineering academic subjects in conditions of technical education reorganization

The **purpose** of the research consists in continuing discussions on anti-crisis actions in studying fundamental academic subjects using the example of Descriptive Geometry and Engineering Drawing, explaining the essence of connection between the current state of methodological paradigm of general engineering subjects and crisis phenomena in perception of these subjects on different stages of education, and elaborating recommendations on further development of the academic subjects in contemporary education.

Methods. To achieve the objective, there have been analyzed theoretical and practical achievements in this area, results of the questionnaire survey of 1st- and 2nd-year students, and the influence of school training in Drawing on the quality of studies at university.

Scientific novelty of the research consists in investigating the correlation between school subjects and academic subjects creating the basis for training modern specialists, and their influence on the quality of education through the example of Descriptive Geometry and Engineering Drawing. The comparative analysis of education systems of countries with a high level of economic growth has been performed.

Practical importance of the research consists in elaborating recommendations on designing for high and higher school integration plans for the subjects to enhance students' knowledge in the area. There has been determined the necessity of creating the comprehensive pedagogical platform of fundamental and general engineering subjects and transformation of engineering education.

Results. The research conducted helps explain problems of contemporary education and to develop measures for overcoming the crisis phenomena, design methods of teaching fundamental and general engineering subjects to facilitate development of future specialists' logical and spatial thinking.

Keywords: Engineering Drawing, engineering education, methodology, fundamental and general engineering subjects, questionnaire survey, drawing, academic performance indices.

УДК 622.625:621.333

Федотов В. А., Сёмочкин А. Б. К вопросу автоматизации позиционирования вагонеток электровозосоставов при погрузочно–разгрузочных операциях в условиях железорудных шахт Кривбасса

Цель. В настоящее время в железорудных шахтах Кривбасса среди локомотивов шахтного рельсового транспорта преимущественное распространение имеют контактные виды электровозов постоянного тока с релейно-контакторной системой управления. Такая система привода устарела и не соответствует современным требованиям уровня экономичности и технологичности обслуживания. Однако при отсутствии средств на кардинальное обновление парка электровозов, в качестве одного из вариантов модернизации данных видов электровозов, а также систем их тягового привода, является автоматизация погрузочно-разгрузочных работ электропоездов в подземных условиях железорудных шахт.

Методы. При оценке возможностей автоматизации точного позиционирования вагонеток использовались некоторые теоретические положения прикладной механики, физики, элементы теории автоматического управления электроприводами, элементы теории электрических машин, методы дискретного преобразования сигналов, методы математического моделирования.

Научная новизна. В настоящее время, невзирая на долгую историю использования электровозов постоянного тока с релейно-контакторным управлением, отсутствуют результаты детальных исследований динамических режимов методами математического моделирования. Несмотря на то, что указанные системы привода во всем мире устарели, в условиях Кривбасса до сих пор актуальными являются задачи частичной модернизации прежней системы привода электровозов для повышения экономической эффективности их использования.

Практическое значение. Автоматизация точного позиционирования вагонеток при погрузочно-разгрузочных операциях предполагает интенсификацию использования внутришахтного транспорта на базе старого оборудования, создание эффективной системы управления тяговым электроприводом, на базе которой должна строиться система управления работой всего тягового комплекса электровоза как в ручном, так и автоматическом режимах.

Результаты. В статье приведены результаты исследований динамических процессов в электровозосоставе с электроприводом постоянного тока с релейно-контакторным управлением и результаты оценки перспективы модернизации тягового электропривода с помощью автоматизации точного позиционирования вагонеток под разгрузку, в условиях железорудных шахт Кривбасса.

Ключевые слова: контактный электровоз, переходные процессы, двигатели постоянного тока, точное позиционирование.

Федотов В. О., Сьомочкин А. Б. До питання автоматизації позиціонування вагонеток електропотягів при вантажних операціях в умовах залізорудних шахт Кривбасу

Мета. В даний час в залізорудних шахтах Кривбасу серед локомотивів шахтного рейкового транспорту переважно поширення мають контактні види електровазів постійного струму з релейно–контакторною системою управління. Така система привоу застаріла і не відповідає сучасним вимогам рівнів економічності і технологічності обслуговування. Проте за відсутності засобів на кардинальне оновлення парку електровазів, як один з варіантів модернізації даних видів електровазів, а також систем їх тягового привоу, є автоматизація завантажувально-розвантажувальних робіт електропоездів в підземних умовах залізорудних шахт.

Методи. При оцінці можливостей автоматизації точного позиціонування вагонеток використовувалися деякі теоретичні положення прикладної механіки, фізики, елементи теорії автоматичного управління електроприводами, елементи теорії електричних машин, методи дискретного перетворення сигналів, методи математичного моделювання.

Наукова новизна. В даний час, незважаючи на довгу історію використання електровазів постійного струму з релейно–контакторним управлінням, відсутні результати детальних досліджень динамічних режимів методами математичного моделювання. Не дивлячись на те, що вказані системі привоу у всьому світі застаріли, в умовах Кривбасу до цих пір актуальними є завдання часткової модернізації колишньої системи привоу електровазів для підвищення економічної ефективності їх використання.

Практичне значення. Автоматизація точного позиціонування вагонеток при операціях завантаження та розвантаження передбачає інтенсифікацію використання внутрішньошахтного транспорту на базі старого устаткування, створення ефективної системи управління тяговим електроприводом, на базі якої повинна будуватися система управління роботою всього тягового комплексу електроваза як в ручному, так і в автоматичному режимах.

Результати. У статті приведені результати досліджень динамічних процесів в електропотязу з електроприводом постійного струму з релейно-контакторним управлінням і результати оцінки перспективи модернізації тягового електропривоу за допомогою автоматизації точного позиціонування вагонеток під розвантаження, в умовах залізорудних шахт Кривбасу.

Ключові слова: контактный электровоз, переходні процеси, двигуни постійного струму, точне позиціонування.

Fedotov V. O., Siomochkin A. B. On automation of positioning of trolleys in electric locomotives during loading-unloading operations in the iron ore mines of Kryvbas

Purpose. Currently, the contact types of electric locomotives of direct current with relay-contactor control system in have the preferential distribution in the iron ore mines of Kryvbas among the locomotives of mine rail transport.

The system is outdated and does not meet modern requirements for levels of economy and serviceability.

However, in the absence of funds for a radical renewal of the fleet of electric locomotives, automation of loading and unloading of electric locomotives in underground conditions of iron ore mines is one of the options for the modernization of these types of electric locomotives, as well as their traction drive systems.

Methods. When evaluating the possibilities of automating the precise positioning of trolleys, some theoretical propositions of applied mechanics, physics, and elements of the theory of automatic control of electric drives, elements of the theory of electric machines, discrete signal transformation methods, and methods of mathematical modeling were used.

Scientific novelty. At present, despite the long history of the use of direct current electric locomotives with relay-contactor control, there are no results of detailed studies of dynamic regimes by mathematical modeling methods.

Despite the decline of these drive systems all over the world, in the conditions of Kryvbas, the tasks of partial modernization of the old electric locomotive drive system are still relevant for increasing the economic efficiency of their use.

Practical importance. Automation of precise positioning of trolleys during loading and unloading operations expects the intensification of the use of the mining transport on the basis of old equipment, the creation of an effective control system for the traction electric drive on the basis of which the control system of the entire traction complex of the locomotive must be built, both in manual and automatic modes.

Results. The article presents the results of studies of dynamic processes in an electric locomotive with a DC electric drive with relay-contactor control and the results of an evaluation of the prospects of modernization of a traction electric drive by automating the precise positioning of trolleys for unloading, in conditions of Kryvbas iron-ore mines.

Keywords: contact electric locomotive, transitional processes, DC motors, precise positioning.

УДК 622.271

Мец Ю.С., Антонов А.Ю. Україне – європейські дороги

Целью настоящего исследования является выяснение особенностей асфальтобетонных покрытий современных авто-трасс, устойчивость насыпных оснований, взлетно-посадочных полос аэродромов. Поскольку в перспективе поставлена задача создания в нашей стране условий, материалов и технологии таких сооружений, необходимо уточнить возможности сырьевой базы, учесть требования промышленности к строительным материалам и их физико-механическим характеристикам, регламентированным соответствующими стандартами.

Методы исследований. Для достижения сформулированной цели выбраны направления исследований: анализ и оценка сырьевой базы Украины для производства строительного сырья необходимой номенклатуры; возможность использования архейских и протерозойских интрузивных, ультраметаморфических и метаморфических пород Украинского щита – гранитов различного состава, сиенитов, габбро, лабрадоритов, мигматитов, гнейсов, кристаллических сланцев, амфиболитов, кварцитов и песчаников; оценка технологических свойств строительных щебней по их форме (кубовидности и лещадности); анализ мировой практики эффективного производства щебня кубовидной формы.

Научная новизна. Решение поставленных задач и составляет актуальность данной работы. Асфальтобетонные смеси на кубовидном щебне обладают лучшей уплотняемостью за счет взаимозаклинивания зерен. Щебень же с зернами лещадной формы при уплотнении смеси вследствие слабой механической прочности частично разрушается, образуя свежие поверхности не покрытые битумом. Последние под действием атмосферных факторов (вода, мороз) могут являться первичными очагами разрушения асфальтобетонных покрытий. Повышенное содержание прочного кубовидного щебня обеспечивает высокое сцепление с колесом автомобиля, а увеличенное количество асфальтного вяжущего вещества способствует повышению водо- и морозостойкости.

Практическая значимость и результаты. Установлено, что в Украине насчитывается 780 объектов с разведанными запасами, в том числе 422 находятся в эксплуатации. Из них 377 месторождений, которые оценены по категории А+В +С, имеют запасы 2498036,9 тыс. м³. Наибольшее количество запасов сосредоточено в областях: Житомирской -17,7%; Полтавской – 14,53%; Кировоградской - 8,33%; Донецкой – 8,11%; Днепропетровской – 6,05%. На территории Кировоградской и Днепропетровской областей эксплуатируются 28 и 20 месторождений соответственно. Наибольший объем продукции производится в Днепропетровской, Полтавской, Ровенской, Винницкой, Запорожской областях, которые обеспечивают более 55% потребности в щебне.

Ключевые слова: кубовидный щебень, дорожное покрытие, сырьевая база.

Мец Ю.С., Антонов А.Ю. Україні – європейські дороги

Метою справжнього дослідження є з'ясування особливостей асфальтобетонних покриттів сучасних авто-трас, стійкість насипних підшв, злітно-посадочних смуг аеродромів. Оскільки в перспективі поставлено завдання створення в нашій країні умов, матеріалів і технології таких споруд, необхідно уточнити можливості сировинної бази, врахувати вимоги промисловості до будівельних матеріалів і їх фізико-механічних характеристик, що регламентуються відповідними стандартами.

Методи досліджень. Для досягнення сформульованої мети вибрано напрями досліджень: аналіз і оцінка сировинної бази України для виробництва будівельної сировини необхідної номенклатури; можливість використання архейських і протерозойських інтрузивних, ультраметаморфічних і метаморфічних порід Українського щита - гранітів різного складу, сиенітів, габбро, лабрадориту, мигматитів, гнейсів, кристалічних сланців, амфіболітів, кварцитів і піщаників; оцінка технологічних властивостей будівельного щебня по їх формі (кубовидності й лещадності); аналіз світової практики ефективного виробництва щебня кубовидної форми.

Наукова новизна. Вирішення поставлених завдань і складає актуальність даної роботи. Асфальтобетонні суміші на кубовидному щебені мають кращу ущільнюваність за рахунок взаємозаклинювання зерен. Щебінь із зернами лещадної форми при ущільненні суміші внаслідок слабкої механічної міцності частково руйнується, утворюючи свіжі поверхні не покриті бітумом. Останні під дією атмосферних чинників (вода, мороз) можуть бути первинними осередками руйнування асфальтобетонних покриттів. Підвищений вміст міцного кубовидного щебня забезпечує високе зчеплення з колесом автомобіля, а збільшена кількість асфальтової терпкої речовини сприяє підвищенню водо- та морозостійкості.

Практична значущість і результати. Встановлено, що в Україні нараховується 780 об'єктів з розвіданими запасами, у тому числі 422 знаходяться в експлуатації. З них 377 родовищ, які оцінені по категорії А+В +С, мають запаси 2498036,9 тис. м³. Найбільша кількість запасів зосереджено в областях: Житомирській - 17,7 %; Полтавській - 14,53 %; Кировоградській - 8,33 %; Донецькій - 8,11 %; Дніпропетровській - 6,05 %. На території Кировоградської і Дніпропетровської областей експлуатуються 28 і 20 родовищ відповідно. Найбільший об'єм продукції виробляється в

Дніпропетровській, Полтавській, Рівненській, Вінницькій, Запорізькій областях, які забезпечують більше 55 % потреби в щебені.

Ключові слова: кубовидний щебінь, дорожнє покриття, сировинна база.

Mets Yu.S., Antonov A.Yu. European qualitative roads for Ukraine

The purpose of this study is to determine the features of asphalt concrete pavements on modern highways, the stability of bulk bases, and the runways of aerodromes. Since in the future the task of creating conditions, materials and technology of such facilities in our country is to be set, it is necessary to clarify the possibilities of the raw material base, take into account the industry requirements for building materials and their physical and mechanical characteristics, regulated by the relevant standards.

Methods of research. Analysis and assessment of the raw material base of Ukraine for the production of construction materials of the required nomenclature; and the use of the archaic Proterozoic intrusive, and metamorphic rocks ultrametamorphic Ukrainian Shield - granites different composition, syenite, gabbros, labradorites, migmatites, gneiss, schists, amphibolite, quartzite and sandstone; evaluation of technological properties of building rubble by their shape (cuboid and flaky); analysis of the world practice of efficient production of cube-shaped crushed stone.

Scientific novelty. The solution of the tasks is the urgency of this work. Asphalt-concrete mixtures on cube-shaped gravel have better compactability due to mutual interlocking of grains. Crushed stone with grains of flaky form when compacting the mixture due to weak mechanical strength is partially destroyed, forming fresh surfaces not covered with bitumen. The latter under the influence of atmospheric factors (water, frost) can be the primary centers of destruction of asphalt concrete pavements. The high content of durable cube-shaped crushed stone provides a high grip with the wheel of the car, and an increased amount of asphalt binder increases water and frost resistance.

Practical significance and results. It is established that 780 objects with explored reserves are in Ukraine, including 422 in operation. Of these, 377 fields that are rated by category A + B + C have reserves of 2498036.9 thousand m³. The largest amount of reserves is concentrated in the following areas: Zhytomyr -17.7%; Poltava - 14.53%; Kirovograd - 8.33%; Donetsk - 8.11%; Dnepropetrovsk - 6.05%. On the territory of the Kirovograd and Dnepropetrovsk regions 28 and 20 deposits are exploited, respectively. The greatest volume of production is made in Dnepropetrovsk, Poltava, Rivne, Vinnitsa, Zaporozhye regions, which provide more than 55% of the demand for crushed stone.

Keywords: cuboid crushed stone, road surface, raw material base.

УДК 621.313.323

Пересунько І.І., Кравченко Д.С., Браславський А.С., Ю Шерстньов.В. Вплив змін напруги і частоти мережі живлення на роботу синхронних двигунів

Мета. Є дослідження впливу зміни напруги і частоти мережі живлення на роботу синхронних двигунів, і виявлення аварійного режиму щоб в подальшому модернізувати електромеханічну систему та забезпечити стійку роботу обладнання з СД.

Методи дослідження. При проведенні розглянутого в статті дослідження вирішуються шляхом застосування, як математичного апарату були використані методи теорії стійкості і теорії електроприводу.

Наукова новизна. Розглянуто математичну модель аварійних режимів синхронного електроприводу, при коротких замиканнях в різних точках електричної мережі і втрати живлення внаслідок відключення від електричної мережі.

Практична значимість. Проведено аналіз впливу зміни напруги і частоти мережі живлення, на автоматизацію високовольтних синхронних електроприводів, і оптимізація режимів їх роботи та способів оцінки запасу стійкості в різних режимах.

Результати. Великі синхронні двигуни (далі СД) знаходять в даний час широке застосування в системах електроприводу насосних, компресорних і вентиляційних установок. Такі двигуни мають істотні переваги більш високим ККД у порівнянні з асинхронними машинами такої ж потужності, меншою залежністю крутного моменту від напруги, що підводиться, незалежністю частоти обертання від навантаження на валу електродвигуна, можливістю використання двигуна для компенсації реактивної потужності. Разом з тим, експлуатація синхронних двигунів супроводжується певними особливостями, пов'язаними з можливістю переходу машини в генераторний або асинхронний (щодо напруги живлення) режими роботи внаслідок короткочасного зниження або відсутності напруги або втрати збудження. У той же час, як правило великі синхронні машини є споживачами першої категорії, незаплановане відключення яких може призвести до суттєвих матеріальних втрат, ризику для здоров'я і життя людей. Перераховані вище обставини призводять до необхідності комплексного підходу до заходів, спрямованих на збереження стійкості роботи синхронних машин в різних режимах.

Ключові слова: аварій, електромеханічних систем, мережі живлення, синхронний електропривод, втрати живлення.

Пересунько И.И., Кравченко Д.С., Браславский А.С., Шерстнёв Ю.В. Влияние изменений напряжения и частоты сети на работу синхронных двигателей

Цель. Есть исследования влияния изменения напряжения и частоты сети питания на работу синхронных двигателей, и проявление аварийного режима чтобы в дальнейшем модернизировать электромеханическую систему и обеспечить устойчивую работу оборудования с СД.

Методы исследования. При проведении рассматриваемого в статье исследования решаются путем применения, как математического аппарата были использованы методы теории устойчивости и теории электропривода.

Научная новизна. Рассмотрена математическая модель аварийных режимов синхронного электропривода, при коротких замыканиях в разных точках электрической сети и потери питания вследствие отключения от электрической сети.

Практическая значимость. Анализ влияния изменения напряжения и частоты сети, на автоматизацию высоковольтных синхронных электроприводов и оптимизация режимов их работы и способов оценки запаса устойчивости в различных режимах.

Результаты. Большие синхронные двигатели (далее СД) находят в настоящее время широкое применение в системах электроприводе насосных, компрессорных и вентиляционных установок. Такие двигатели имеют существенные преимущества более высоким КПД по сравнению с асинхронными машинами такой же мощности, меньшей зависимостью крутящего момента от напряжения, подводимой независимостью частоты вращения от нагрузки на валу электродвигателя, возможностью использования двигателя для компенсации реактивной мощности. Вместе с тем, эксплуатация синхронных двигателей сопровождается определенными особенностями, связанными с возможностью перехода машины в генераторный или асинхронный (щодо напруги питания) режимы работы вследствие кратковременного снижения или отсутствия напряжения или потери возбуждения. В то же время, как правило большие синхронные машины являются потребителями первой категории, незапланированное отключение которых может привести к существенным материальным потерям, риска для здоровья и жизни людей. Перечисленные выше обстоятельства призывают к необходимости комплексного подхода к мерам, направленным на сохранение устойчивости работы синхронных машин в различных режимах.

Ключевые слова: аварий, электромеханических систем, сети, синхронный электропривод, потери питания.

Peresunko I.I., Kravchenko D.C., Braslavsky A.S., Sherstnyv Yu.V. Effect of changing the voltage and frequency of the power network on the operation of synchronous motors

Purpose. To study the effect of changing the voltage and frequency of the power network on the operation of synchronous motors, and the manifestation of an emergency mode in order to further modernize the electromechanical system and ensure the stable operation of equipment with LEDs.

Methods of research. The methods of the theory of stability and the theory of an electric drive were used to solve the mathematical apparatus.

Scientific novelty. A mathematical model of emergency modes of a synchronous electric drive is considered, with short circuits in different points of the electric network and power loss due to disconnection from the power grid.

Practical significance. Analysis of the influence of voltage and frequency variations on the network, on automation of high-voltage synchronous electric drives and optimization of their operation modes and methods for estimating the stability margin in various modes.

Results. Large synchronous motors are now widely used in electric drive systems for pumping, compressor and ventilation plants. Such engines have significant advantages in higher efficiency compared to asynchronous machines of the same power, less torque dependence on the voltage supplied by the independence of the rotational speed from the load on the motor shaft, the possibility of using the motor to compensate the reactive power. At the same time, the operation of synchronous motors is accompanied by certain features associated with the possibility of switching the machine to generator or asynchronous (power-feeding) modes of operation due to short-term reduction or lack of voltage or loss of excitation. At the same time, as a rule, large synchronous machines are consumers of the first category, unplanned shutdown of which can lead to significant material losses, a risk to the health and life of people. The above circumstances will lead to the need for an integrated approach to measures aimed at maintaining the stability of synchronous machines in different modes.

Keywords: accidents, electromechanical systems, networks, synchronous electric drive, power loss.

УДК 697.34

Гольшев А.М., Коновалюк В.А., Михалків Д.В., Филонова К.А. Перспективы применения систем с переменным расходом воздуха в условиях зданий учебных заведений

Цель. Целью данной работы является определение перспектив применения для помещений общественных зданий вентиляционных систем с переменным расходом воздуха (VAV-систем, «Variable Air Volume» - переменный расход воздуха), которые учитывают фактический режим использования помещений при различных нагрузках по количеству людей и соответственно неравномерность во времени поступления вредных выделений, на снижение концентрации которых собственно проектируется система вентиляции. Основными вредными выделениями для помещений общественных зданий принято учитывать двуокись углерода, влагу и тепло.

Методы исследования. В работе выполнен анализ предпосылок воплощения принципа переменного расхода воздуха в помещениях общественных зданий путем анализа режима загруженности помещений во времени. Выполнено сравнение режима эксплуатации системы вентиляции учебных аудиторий с учетом количества людей в соответствии с фактическим расписанием занятий. Выполнен сравнительный анализ технико-экономических показателей систем вентиляции с разным принципом управления расходом воздуха.

Научная новизна. Подтверждение перспективности внедрения систем с переменным расходом воздуха выполнено на основе определения влияния основного фактора - коэффициента загруженности помещений, который на сегодняшний день не является расчетной величиной при определении режимов работы систем вентиляции помещений. В данной работе подтверждается значимость такого параметра и его влияние на основные конструктивные решения систем вентиляции общественных зданий и их технико-экономические показатели.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют утверждать о целесообразности использования в помещениях общественных зданий систем с переменным расходом воздуха исходя из указанных особенностей режима и графика использования (загруженности) помещений и вызванной этим особенностями работы вентиляционных систем, а также присущими им достоинствами и преимуществами.

Результаты. На основе сравнительного анализа обосновано использование в помещениях учебных зданий систем вентиляции с переменным расходом, что позволяет значительно снизить эксплуатационные расходы тепловой и электрической энергии, что относительно рассчитанного примера составляет 70% и 92% соответственно.

Ключевые слова: коэффициент загруженности помещений, система вентиляции, расход воздуха, переменный расход воздуха, двуокись углерода, постоянный расход воздуха.

Голишев О.М., Коновалюк В.А., Михалків Д.В., Филонова К.О. Перспективи застосування систем вентиляції зі змінною витратою повітря в умовах будівель навчальних закладів

Мета. Метою даної роботи є визначення перспектив застосування для приміщень громадських будівель вентиляційних систем зі змінною витратою повітря (VAV-систем, «Variable Air Volume» - змінна витрата повітря), що враховують фактичний режим використання приміщень при різних навантаженнях по кількості людей та, відповідно, нерівномірність в часі надходження шкідливих виділень, на зниження концентрації яких власне проєктовано системи вентиляції. Основними шкідливими виділеннями для приміщень громадських будівель прийнято двоокис вуглецю, вологу та тепло.

Методи дослідження. В роботі виконано аналіз передумов втілення принципу змінної витрати повітря в приміщеннях громадських будівель шляхом аналізу режиму завантаженості приміщень в часі. Виконано порівняння режиму експлуатації системи вентиляції приміщення учбових аудиторій з врахування кількості людей відповідно до фактичного розкладу занять. Виконано порівняльний аналіз техніко-економічних показників систем вентиляції з різним принципом керування витратою повітря.

Наукова новизна. Підтвердження перспективи впровадження систем зі змінною витратою повітря виконано на основі визначення впливу основного фактору – коефіцієнту завантаженості приміщень, який на сьогодні не є розрахунковою величиною при визначенні режимів роботи систем вентиляції приміщень. В даній роботі підтверджується значимість такого параметру і його вплив на основні конструктивні рішення систем вентиляції громадських будівель та їх техніко-економічні показники.

Практична значимість. Отримані результати дозволяють стверджувати про доцільність використання в приміщеннях саме громадських будівель систем зі змінною витратою виходячи з зазначених особливостей режиму та графіку використання (завантаженості) приміщень та викликані цим особливостями роботи вентиляційних систем, а також властивими їм достоїнствами і перевагами. Для громадських будівель одним з основних показників, що впливає на значення повітрообміну приміщень, є кількість людей, які одночасно в ньому знаходяться.

Результати. На основі порівняльного аналізу обґрунтовано використання в приміщеннях начальних будівель систем вентиляції зі змінною витратою, що дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати теплової та електричної енергії, що стосовно розрахованого прикладу складає 70% та 92% відповідно.

Ключові слова: коефіцієнт завантаженості приміщень, система вентиляції, витрат повітря, змінна витрата повітря, двоокис вуглецю, постійна витрата повітря.

Golyshev O. M., Konovaliuk V.A., Mikhalkiv D.V., Filonova K.A. Prospects of ventilation systems with variable air volume consumption in the buildings of educational institutions

Purpose. To determine the prospects of using ventilation systems with variable air volume (VAV-systems) for public buildings, which take into account the premises with different number of people and, accordingly, unevenness in time the receipt of harmful emissions, the ventilation system itself being designed to reduce the concentration of their own. The main harmful emissions for public buildings are taken into account carbon dioxide, moisture and heat.

Research methods. The analyzes of the principle of variable flow of air in premises of public buildings by analyzing the regime of load of premises in time. A comparison of the operation of the ventilation system in the classrooms was made, taking into account the number of people in accordance with the actual schedule of classes. The comparative analysis of the technical and economic indicators of ventilation systems with different principles of air flow control is carried out.

Scientific novelty. Confirmation of the prospects of introducing systems with variable air flow is based on the determination of the influence of the main factor - the coefficient of load space, which for today is not a calculated value in determining the modes of operation of ventilation systems of premises. In this paper, the significance of such a parameter and its influence on the basic constructive solutions of ventilation systems of public buildings and their technical and economic indicators are confirmed.

Practical value. The obtained results allow us to approve the expediency of using in the premises of public buildings systems with variable flow of air based on these features of the regime and the schedule of use (loading) of premises and the caused by these features of the work of ventilation systems, as well as the inherent advantages and advantages.

Results. Based on the comparative analysis, it is reasonable to use ventilation systems with variable volume in premises of educational buildings, which allows to significantly reduce the operating costs of thermal and electric energy, which is 70% and 92% respectively, in terms of the calculated example.

Keywords: load factor of premises, ventilation system, air volume, variable air volume, carbon dioxide, constant air volume.

УДК 622.235:622.271

Скачков А.А. Особенности формирования динамических зон в разрушаемом взрывом массиве при дифференцированном его энергонасыщении

В статье анализируются геомеханические условия, при которых взрывное разрушение кристаллических пород осуществляется посредством взаимодействующих скважинных зарядов. Также учитываются особенности формирования зон вокруг заряда с различным напряженным состоянием горных пород.

Цель. Основной целью исследования является определение наиболее значимых факторов, влияющих на свойства горных пород при формировании в них силовых полей. И оно посвящено решению актуальной проблемы – снижению удельного расхода взрывчатых веществ для разрушения горных пород путем изменения порядка выполнения последовательности инициирования скважинных зарядов при их подрывании. Это учитывает взаимодействие взрывных нагрузок от разных зарядов.

Методами исследования являются анализ геологических данных по железорудным месторождениям Кривбасса, проектной документации, данных добычи руд горных предприятий и открытых разработок, научные публикации и их последующий анализ и синтез и разработка научных положений.

Результаты исследования. Для теории и практики ведения взрывных работ важно знать особенности формирования и взаимодействия силовых полей скважинных зарядов ВВ, взрывааемых в одной ступени замедления. Основную роль в процессе разрушения горного массива при этих условиях играют зоны I и II силовых полей разрушения. Подбором $P(t)$ (величина импульса заряда взрывной полости) в каждом из взаимодействующих зарядов, можно регули-

ровать процесс взрывного нагружения в зависимости от конкретных горно-геологических условий ведения взрывных работ. За счет изменения способов формирования и порядка взрывания зарядов ВВ в разрушаемом объеме можно влиять на процесс разрушения, зная особенности формирования силовых полей.

Характер формирования и основные характеристики зоны III – важны для изучения процесса разрушения горного массива, приведенного в напряженное состояние от ранее взорванных скважинных зарядов ВВ.

Выводы. Учитывая временные и геометрические характеристики зоны III, можно предположить, что напряженное состояние горного массива будет полностью отвечать физическим параметрам интегральной зоны, образованной от ранее взорвавшихся скважинных зарядов ВВ. Полученные результаты могут быть использованы для разработки взрывных технологий, основанных на разрушении горного массива, приведенного предварительно в напряженное состояние от взрыва зарядов ВВ, например, малой мощности.

Оригинальность заключается в определении комплексного подхода к решению указанной проблемы и ряде технических решений.

Практическое значение. Дальнейшее развитие и производственное применение результатов исследований обеспечит значительное снижение себестоимости железорудной продукции за счет повышения эффективности буровых и взрывных работ в железорудном карьере.

Ключевые слова: горная порода, взрывное разрушение, карьер, взрывные волны, взрывные работы, скважинные заряды.

Скачков А.А. Особливості формування динамічних зон у масиві, який руйнується вибухом при його диференційованій енергонасиченості

У статті аналізуються геомеханічні умови, за яких вибухове руйнування кристалічних порід здійснюється за допомогою взаємодіючих свердловинних зарядів. Також враховуються особливості формування чотирьох зон навколо заряду з різним напруженим станом гірських порід.

Мета. Основною метою дослідження є визначення найбільш значущих чинників, що впливають на властивості гірських порід при формуванні в них силових полів. І воно присвячене вирішенню актуальної проблеми – зниженню питомої витрати вибухових речовин для руйнування гірських порід шляхом зміни порядку виконання робіт при їх підриванні. Це враховує взаємодію вибухових навантажень від різних зарядів.

Методами дослідження є аналіз геологічних даних залізорудних родовищ Кривбасу, проектної документації, даних видобутку руд гірничих підприємств і відкритих розробок, наукові публікації та їх подальший аналіз і синтез та розробка наукових положень.

Результати дослідження. Для теорії і практики ведення вибухових робіт важливо знати особливості формування і взаємодії силових полів свердловинних зарядів ВР, що підривають в одному ступені уповільнення. Основну роль в процесі руйнування гірського масиву за цих умов відіграють зони I та II силових полів руйнування. Підбором $P(t)$ (величина імпульсу заряду вибухової порожнини) в кожному із взаємодіючих зарядів, можна регулювати процес вибухового навантаження в залежності від конкретних гірничо-геологічних умов ведення вибухових робіт. За рахунок зміни способів формування і порядку підривання зарядів ВР в руйнованому обсязі, можна впливати на процес руйнування, знаючи особливості формування силових полів.

Характер формування та основні характеристики зони III є важливими для вивчення процесу руйнування гірського масиву, приведеного в напружений стан від раніше підірваних свердловинних зарядів ВР.

Висновки. З огляду на часові та геометричні характеристики зони III, можна припустити, що напружений стан гірського масиву буде повністю відповідати фізичним параметрам інтегральної зони, утвореної від раніше підірваних свердловинних зарядів ВР. Отримані результати можуть бути використані для розробки вибухових технологій, заснованих на руйнуванні гірського масиву, приведеного попередньо в напружений стан від вибуху зарядів ВР, наприклад, малої потужності.

Оригінальність полягає у визначенні комплексного підходу щодо вирішення зазначеної проблеми і ряді технічних рішень.

Практичне значення. Подальший розвиток і виробниче застосування результатів досліджень забезпечить значне зниження собівартості залізорудної продукції за рахунок підвищення ефективності бурових і вибухових робіт у залізорудному кар'єрі.

Ключові слова: гірська порода, вибухове руйнування, кар'єр, вибухові хвилі, вибухові роботи, свердловинні заряди.

Skachkov A.A. Features of the formation of dynamic zones in the destroyed array under differentiated energy saturation

The article analyzes geomecanical conditions in which explosive destruction of crystalline rocks is carried out by means of interacting borehole charges. Also taken into account are the features of the formation of four zones around the charge with different stress state of rocks.

Purpose. To determine the most significant factors that affect the properties of rocks during the formation of force fields in them. To reduce the specific consumption of explosives for the destruction of rocks by changing the order of works. This takes into account the interaction of explosive loads from different charges..

The methods of research are to analyze of geological data on the iron-ore deposits of Kryvbass, project documentation, production data of the mining enterprises and open pits, scientific publications and their subsequent synthesis and formulation of the developed provisions.

Findings. For the theory and practice of blasting operations, it is important to know the features of the formation and interaction of the field strengths of borehole explosives blasting in one stage of deceleration. The main role in the process of destruction of the mountain massif under these conditions is played by zones I and II of the force fields of destruction. By selecting $P(t)$ (the magnitude of the charge of the blast hole charge) in each of the interacting charges, it is possible to regulate the explosive loading process depending on the specific mining and geological conditions of blasting operations. Due to the change in the methods of formation and the order of explosions of explosives in the destroyed volume, it is possible to influence the process of destruction, knowing the features of the formation of force fields.

The character of the formation and the main characteristics of zone III are important for investigating the process of destruction of a mountain massif, brought into a stressed state from previously exploded well borehole charges.

Conclusions. Given the temporal and geometric characteristics of zone III, it can be assumed that the stressed state of the mountain massif will fully correspond to the physical parameters of the integral zone formed from previously exploding well borehole charges. The obtained results can be used to develop explosive technologies based on the destruction of a mountain mass, which was previously subjected to a stressed state from explosion of explosive charges, for example, low power.

The originality is to determine the comprehensive approach in solution to the stated problem, and a number of the proprietary technical solutions.

Practical implications. Further development and manufacturing application of the research results will provide a significant reduction in the iron ore production cost by increasing the efficiency of drilling and blasting operations in the open pit.

Keywords: ore, explosive destruction, open pit, acoustic waves, blasting, borehole charges.

УДК 66.047.7: [62-4+544.023.5]

Замиський О.В., Омельчук Д.В. Аналіз існуючих способів сушки тонкодисперсних матеріалів

Мета. Метою даної роботи є аналіз стратегії вибору оптимального апаратурно-технологічного оформлення процесу сушіння конкретного матеріалу, що включає комплексний аналіз матеріалу як об'єкта сушіння.

Методи дослідження. У роботі використані теоретичні та емпіричні методи дослідження. Проведено аналіз сучасного стану парку сушильних установок, розглянуто найбільш поширені схеми сушки та виявлено найбільш ефективні методи інтенсифікації процесів сушки

Наукова новизна. В доповіді проаналізовані основні особливості сушки тонкодисперсних матеріалів. Зроблено висновок про енергоефективність та економічність сушильних апаратів, це і зумовило актуальність даної теми дослідження.

Практична значимість. Аналіз сучасних методів сушки тонкодисперсних матеріалів дозволив виявити основні проблеми галузі та знайти найбільш ефективні методи інтенсифікації процесу сушки. Був визначений оптимальний режим сушки з урахуванням технологічних вимог до якості висушеного продукту; розроблена комплексна класифікація матеріалів як об'єктів сушки з виходом на конструктивне оформлення сушильних установок, обґрунтовано визначення часу сушіння, рекомендований порядок вибору сушильних апаратів для тонкодисперсних матеріалів

Результати. При сушінні дисперсних матеріалів важливою проблемою є забезпечення екологічної та виробничої безпеки сушильних установок. Проаналізувавши різновиди сушки тонкодисперсних матеріалів ми можемо помітити, що кожен з видів має свої переваги та недоліки в процесі експлуатації, але застосування методу сушіння тонкодисперсних матеріалів шляхом пропускання змінного електричного струму безпосередньо через шар вологого матеріалу забезпечує найкращі показники енергозбереження, екологічності та енергоспоживання. Один з центральних питань - забезпечення очищення від пилу і створення безуносних сушилок. Були розглянуті основні методи зневоднення тонкодисперсних матеріалів, вивчені теоретичні та механічні засади сушильних процесів. В подальшому планується встановлення закономірностей даного методу для поліпшення якості кінцевого продукту і підвищення енергоефективності процесу сушки тонкодисперсних матеріалів.

Ключові слова: тонкодисперсні, інтенсифікація, сушильні апарати, енергоефективність.

Замиський О.В., Омельчук Д.В. Анализ существующих способов сушки тонкодисперсных материалов

Цель. Целью данной работы является анализ стратегии выбора оптимального апаратурно-технологического оформления процесса сушки конкретного материала, включающего комплексный анализ материала как объекта сушки.

Методы исследования. В работе использованы теоретические и эмпирические методы исследования. Проведен анализ современного состояния парка сушильных установок, рассмотрены наиболее распространенные схемы сушки и выявлены наиболее эффективные методы интенсификации процессов сушки

Научная новизна. В докладе проанализированы основные особенности сушки тонкодисперсных материалов. Сделан вывод об энергоэффективности и экономичности сушильных аппаратов, это и обусловило актуальность данной темы исследования.

Практическая значимость. Анализ современных методов сушки тонкодисперсных материалов позволил выявить основные проблемы отрасли и найти наиболее эффективные методы интенсификации процесса сушки. Был определен оптимальный режим сушки с учетом технологических требований к качеству высушенного продукта; разработана комплексная классификация материалов как объектов сушки с выходом на конструктивное оформление сушильных установок, обосновано определение времени сушки, рекомендованный порядок выбора сушильных аппаратов для тонкодисперсных материалов

Результаты. При сушке дисперсных материалов важной проблемой является обеспечение экологической и производственной безопасности сушильных установок. Проанализировав разновидности сушки тонкодисперсных материалов мы можем заметить, что каждый из видов имеет свои преимущества и недостатки в процессе эксплуатации, но применение метода сушки тонкодисперсных материалов путем пропускания переменного электрического тока непосредственно через слой влажного материала обеспечивает лучшие показатели энергосбережения, экологичности и энергопотребления. Один из центральных вопросов - обеспечение очистки от пыли и создание безуносных сушилок. Были рассмотрены основные методы обезвоживания тонкодисперсных материалов, изучены теоретические и механические основы сушильных процессов. В дальнейшем планируется определение закономерностей данного метода для улучшения качества конечного продукта и повышение энергоэффективности процесса сушки тонкодисперсных материалов.

Ключевые слова: тонкодисперсные, интенсификация, сушка, энергоэффективность.

Zamytsky O.V., Omelchuk D.V. Current methods of drying fine materials

Purpose. To analyze the choice of optimal equipment-technological registration for drying concrete material that includes the complex analysis of material as an object of drying.

Research methods. The theoretical and empiric methods of research are in-process used. The analysis of the modern state of park of drying options is conducted, the most widespread charts of drying are considered and the most effective methods of intensification of processes of drying are educed the

Scientific novelty. The basic features of drying of fine materials are analysed in lectures. Drawn conclusion about energy efficiency and economy of drying vehicles.

Practical meaningfulness. The analysis of modern methods of drying the micronized materials allowed to educe the basic problems of industry and find the most effective methods of intensification of the drying process. The optimal mode of drying was determined, taking into account technological requirements to quality of the dried up product; worked out complex classification of materials as objects of drying with an exit on structural registration of drying options, determination of time of drying is reasonable, recommended order of choice of drying vehicles for the micronized materials

Results. When drying disperse materials, an important problem is the provision of ecological and industrial safety of drying plants. After analyzing the drying of finely dispersed materials, we can see that each of the species has its advantages and disadvantages in the operation, but applying the method of drying fine materials by passing an alternating electric current directly through a layer of moist material provides the best indicators of energy saving, environmental friendliness and energy consumption. One of the central issues is the provision of cleaning from dust and the creation of non-drier dryers. The basic methods of dehydration of finely dispersed materials were considered, the theoretical and mechanical foundations of drying processes were studied. In the future, it is planned to determine the regularities of this method for improving the quality of the final product and improving the energy efficiency of the drying process for fine materials.

Keywords: micronized, intensification, drying, energy efficiency

УДК 001.57:681.5.015

Мацуй А.М. Теоретичне дослідження ідентифікації середньозваженої крупності розвантаження кульового млина і пісків односпірального класифікатора

Мета. Метою даної роботи є теоретичне дослідження ідентифікації середньозваженої крупності розвантаження кульового млина і пісків односпірального класифікатора за параметрами випадкового процесу розподілу твердого в невеликому контрольованому просторі при проходженні через нього потоку, спрямоване на можливість використання магнітоелектричної системи.

Методи дослідження. В роботі використані метод узагальнення результатів попередніх досліджень, аналізу результатів, отриманих прийнятим базовим методом, методи теорії імовірності, випадкових процесів, диференціювання функцій, моделювання, теорії чутливості, узагальнення, розмірностей, компенсації дії збурних факторів, електромагнітної індукції.

Наукова новизна. Вперше запропоновано підхід вимірювання середньозваженої крупності матеріалу в розвантаженні кульового млина і пісків односпірального класифікатора за параметрами випадкового процесу швидкості зміни об'єму твердого в невеликому контрольованому просторі, через який рухається потік або сприймаючий елемент відносно матеріального потоку.

Практична значимість. Отримана аналітична залежність електрорушійної сили магнітоелектричної системи, що взаємодіє з матеріальним потоком, від середньозваженої крупності часток твердого, на яку також впливають концентрація часток, вміст в них магнетиту та швидкість переміщення. Відсутність технічних засобів вимірювання середньозваженої крупності твердого в розвантаженні кульового млина і пісках односпірального класифікатора стримує удосконалення систем автоматизації перших стадій подрібнення-класифікації на рудозбагачувальних фабриках, що приводить до значних економічних збитків.

Результати. Запропонована аналітична залежність швидкості зміни об'єму твердого в невеликому контрольованому просторі, через який рухається матеріальний потік, дозволяє визначати середньозважену крупність часток руди у розвантаженні кульового млина і пісках односпірального класифікатора. Однак при цьому збурними факторами є концентрація твердого в контрольованому просторі і швидкість переміщення потоку. Вплив їх на результати вимірювання суттєвий – до $\pm 17,5\%$ і $\pm 33\%$. Найкращі результати можливо отримати, коли в контрольованому просторі знаходиться близько 200 часток твердого. При цьому можливо якісно здійснити вимірювання середньозваженої крупності твердого в межах її технологічних змін. Відтворити процес найбільш ефективно магнітоелектричною системою з визначенням її електрорушійної сили, яка, крім того, залежить від вмісту магнетиту в твердому. Коливання вмісту магнетиту легко компенсувати, вимірюючи зміну магнітного потоку відносно нормативного.

Ключові слова: середньозважена крупність, кульовий млин, піски класифікатора, магнітоелектрична система

Мацуй А.Н. Теоретическое исследование идентификации средневзвешенной крупности разгрузки шаровой мельницы и песков односпирального классификатора

Цель. Целью данной работы является теоретическое исследование идентификации средневзвешенной крупности разгрузки шаровой мельницы и песков односпирального классификатора по параметрам случайного процесса распределения твердого в небольшом контролируемом пространстве при прохождении через него потока, направленное на возможность использования магнитоэлектрической системы.

Методы исследования. В работе использованы метод обобщения результатов предыдущих исследований, анализа результатов, полученных принятым базовым методом, методы теории вероятности, случайных процессов, дифференцирования функций, моделирования, теории чувствительности, обобщения, размерностей, компенсации действия возмущающих воздействий, электромагнитной индукции.

Научная новизна. Впервые предложен подход измерения средневзвешенной крупности материала в разгрузке шаровой мельницы и песков односпирального классификатора по параметрам случайного процесса скорости изменения объема твердого в небольшом контролируемом пространстве, через которое движется поток или воспринимающий элемент относительно материального потока.

Практическая значимость. Получена аналитическая зависимость электродвижущей силы магнитоэлектрической системы, которая взаимодействует с материальным потоком, от средневзвешенной крупности частиц твердого, на

котрою також впливають концентрація частиц, содержание в них магнетита и скорость перемещения. Отсутствие технических средств измерения средневзвешенной крупности твердого в разгрузке шаровой мельницы и песках односпирального классификатора сдерживает усовершенствование систем автоматизации первых стадий измельчения-классификации на рудообогатительных фабриках, что приводит к значительным экономическим убыткам.

Результаты. Предложена аналитическая зависимость скорости изменения объема твердого в небольшом контролируемом пространстве, через которое движется материальный поток, позволяет определять средневзвешенную крупность частиц руды в разгрузке шаровой мельницы и песках односпирального классификатора. Однако при этом возмущающими воздействиями являются концентрация твердого в контролируемом пространстве и скорость перемещения потока. Влияние их на результаты измерения существенны – ошибки могут приближаться к $\pm 17,5\%$, $\pm 33\%$. Наилучшие результаты возможно получить, когда в контролируемом пространстве находится около 200 частиц твердого. При этом возможно качественно осуществить измерения средневзвешенной крупности твердого в пределах ее технологических изменений. Воссоздать процесс наиболее эффективно магнитоэлектрической системой с определением ее электродвижущей силы, которая, кроме того, зависит от содержания магнетита в твердом. Колебания содержания магнетита легко компенсировать, измеряя изменение магнитного потока относительно нормативного.

Ключевые слова: средневзвешенная крупность, шаровая мельница, пески классификатора, магнитоэлектрическая система

Matsui A. Theoretical study on the identification of the average sized unloading ball mill and sands in a single-spiral classifier

Purpose. A theoretical study of the identification of the weighted average unloading size of a ball mill and sands of a single-spiral classifier by the parameters of a random process of distribution of a solid in a small controlled space while flowing through it, aimed at the possibility of using a magnetoelectric system.

Methods of research. The method of generalizing the results of previous studies, analyzing the results obtained by the accepted basic method, methods of probability theory, random processes, differentiation of functions, modeling, sensitivity theory, generalization, dimensions, compensation for the action of disturbing effects, electromagnetic induction are used.

Scientific novelty. For the first time, an approach is proposed for measuring the weighted average particle size in the unloading of a ball mill and sands of a single-spiral classifier by the parameters of a random process of the rate of change in the volume of a solid in a small controlled space through which the flow or the sensing element moves relative to the material flow.

Practical significance. The analytical dependence of the electromotive force of the magnetoelectric system, which interacts with the material flow, on the average particle size of solid particles is obtained, which is also affected by the concentration of particles, the content of magnetite in them and the speed of movement. The lack of technical means for measuring the weighted average particle size of unloading a ball mill and sands of a single-spiral classifier hinders the improvement of the automation systems of the first stages of grinding-classification at ore-dressing factories, which leads to significant economic losses.

Results. The analytical dependence of the rate of change of the solid volume in a small controlled space through which the material flow moves is used to determine the weighted average particle size of the ore in the unloading of a ball mill and the sands of a single-spiral classifier. However, the perturbing effects are the concentration of solid in the controlled space and the velocity of the flow. Their influence on the measurement results is significant - errors can approach $\pm 17.5\%$, $\pm 33\%$. The best results can be obtained when there are about 200 solid particles in the controlled space. In this case, it is possible to perform qualitatively measurements of the weighted average particle size in the range of its technological changes. The process is most effectively reconstructed by the magnetoelectric system with the determination of its electromotive force, which, in addition, depends on the content of magnetite in the solid. Fluctuations in the content of magnetite can easily be compensated by measuring the change in the magnetic flux relative to the normative one.

Keywords: weighted average particle size, ball mill, sands classifier, magnetoelectric system.

УДК 628.356.39:628.345.6

Тишук В.Ю., Ковальова І.Б., Кривенко Т.А. Розвиток основ біохімічного очищення стічних вод коксохімічних виробництв

Мета. Метою даної роботи є розробка ефективних засобів біохімічної очистки стічних вод коксохімічних виробництв на основі використання природних органічних сполук. Очищення стічних вод коксохімічного виробництва відрізняється складністю процесу, яка полягає в наявності у воді великої кількості хімічних інгредієнтів, що важко підлягають видаленню з водного середовища.

Методи досліджень. Аналіз раніше виконаних досліджень в галузі очищення стічних вод, використано аналітичні дослідження очищення стічних вод на основі фундаментальних положень органічної та колоїдної хімії, проведено експериментальні дослідження сорбції шкідливих речовин в водяному середовищі на поверхні сорбату, в якості якого використано зелені глини. В якості шкідливої речовини прийнято оксид вуглецю, який в порівнянні з іншими забруднювачами найбільш складно піддається очищенню.

Наукова новизна. Теоретично доведено механізм взаємодії зелених глин з оксидом вуглецю, який протікає по типу фізичної сорбції і хемосорбції на поверхні дрібнодисперсних частинок зелених глин

Практична значимість. Отримано результати питомої сорбції шкідливих речовин на поверхні часток зелених глин. Встановлена пряма залежність ефективності очищення забрудненої води від концентрації зелених глин у водному середовищі.

Результати. Доведена перспектива використання природних органічних речовин – зелених глин для очищення стічних вод коксохімічних виробництв від низки шкідливих речовин. У подальшому необхідно провести широкі дослідження по видаленню з водного середовища фенолів, аміаку, смол і мастил, роданідів, ціанідів, солей неорганічних кислот, сполук сірки та інших шкідливих речовин.

Ключові слова. Коксохімічне виробництво, стічні води, очищення вод, сорбція, зелені глини.

Тишук В.Ю., Ковалева І.Б., Кривенко Т.А. Развитие основ биохимической очистки сточных вод коксохимических

производств

Цель. Целью данной работы является разработка эффективных средств биохимической очистки сточных вод коксохимических производств на основе использования природных органических соединений. Очистка сточных вод коксохимического производства отличается сложностью процесса, заключающегося в наличии в воде большого количества химических ингредиентов, которые сложно поддаются удалению из водной среды.

Методы исследований. Анализ ранее выполненных исследований в области очистки сточных вод, использованы аналитические исследования очистки сточных вод на основе фундаментальных положений органической и коллоидной химии, проведены экспериментальные исследования сорбции вредных веществ в водной среде на поверхности сорбата, в качестве которого использованы зеленые глины.

Научная новизна. Теоретически доказано механизм потенциальной сорбции вредных веществ на поверхности мелкодисперсных частиц зеленых глин.

Практическая значимость. Получены результаты удельной сорбции вредных веществ на поверхности частиц зеленых глин. Установлена прямая зависимость эффективности очистки загрязненной воды от концентрации зеленых глин в водной среде.

Результаты. Доказана перспектива использования природных органических веществ - зеленых глин для очистки сточных вод коксохимических производств от ряда вредных веществ. Установлена перспектива широкого применения зеленых глин, которые в большой массе находятся в природной среде, для очистки загрязненных вод от химических соединений. В дальнейшем необходимо провести широкие исследования по удалению из водной среды фенолов, аммиака, соединений серы и многих других вредных веществ.

Ключевые слова. Коксохимическое производство, сточные воды, очистка вод, сорбция, зеленые глины.

Tyshchuk V.Yu., Kovalova I.B., Kryvenko T.A. Development of the basics of biochemical treatment of sewage water of coke & by-product plants

Purpose. The purpose of this work is the development of efficient means for biochemical treatment of wastewater of coke & by-product plants using natural organic compounds. The treatment of wastewater from coke & by-products plants is complicated in the process and depends on the presence of a large number of chemical ingredients in water that are difficult to remove from the aquatic environment.

Research methods. The analysis of previous studies on wastewater treatment, analytical studies of wastewater treatment based on the fundamental positions of organic and colloidal chemistry and experimental studies of the sorption of harmful substances in the water medium on the surface of sorbate presented by green clays are used in the work.

Scientific novelty. The phenomenon of potential sorption of harmful substances on the surface of fine particles of green clays has been theoretically proved.

Practical significance. The results of specific sorption of harmful substances on the surface of particles of green clays have been obtained. The direct relation between purification efficiency of polluted water and concentration of green clays in the water medium has been established.

Results. The outlook of using the natural organic substances such as green clays for the treatment of wastewater of coke & by-product plants from a number of harmful substances has been proved. The prospect of wide application of green clays that can be largely found in the natural environment for the purification of contaminated water from chemical compounds has been established. In the future it is necessary to carry out an extensive research on the removal of phenols, ammonia, sulfur compounds and many other harmful substances from the aquatic environment.

Keywords. Coke production, wastewater, water treatment, sorption, green clays.

UDC 504.55.054:622(470.6)

Golik V.I., Dzaparov V.Kh., Kharebov G.Z., Morkun V.S., Morkun N.V., Tron V.V. Information technologies in designing mining objects

The research is aimed at improving forms and methods of information support of technological measures for efficient mining and complex usage of mineral resources at mining enterprises' functioning stages.

Methods. The issue of information support is studied by analyzing literature sources concerning the advanced experience data, results of studying the ore-bearing massif, parameters of deposit mining, technological properties of ores, evaluating the massif state by complex methods using models and statistics data.

Scientific novelty. There are developed basic principles of designing mining processes based on concepts of simulation databases, expert and geoinformation systems in ore mining and initial processing by applying new technologies of production processes at the processing stage.

Practical significance. Application of established system connections and regularities allows formalizing principles of interaction between a designing body, users and exploitation objects on the basis of analysis and synthesis of the system of controlling a design error risk and working out a model of managing mining production aimed at increasing mining efficiency and safety by correcting impacts at all stages of an object's existence.

Results. The research provides evaluation of the information support state of a modern mining production focused on solid mineral mining by conventional and up-to-date technologies. There are formulated basic aspects of information support improvement. The authors suggest schemes of multi-variant automated designing with step-by-step optimization of particular solutions of automated designing which implies mineral deposit development, project evaluation as to its conformity with environment-saving demands, continuous monitoring of processes accompanied by controlling solutions at deposit mining stages. There are recommended methods of investigating new processes of metal extraction from substandard raw materials.

Keywords: information support, mineral resources, mining enterprise, analysis, technology, ore, designing, imitation simulation

Голік В. І., Дзапаров В. Х., Харєбов Г. З., Моркун В. С., Моркун Н. В., Тронь В. В. Інформаційні технології в проектуванні горнодобувальних об'єктів

Целью работы является совершенствование форм и методов информационного обеспечения технологических мероприятий, направленных на эффективную добычу и комплексное использование добываемых и уже добытых минеральных ресурсов на стадиях существования горнодобывающего предприятия.

Методы. Анализ состояния вопроса информационного обеспечения производится по литературным источникам с данными передового опыта, результатам исследования рудовмещающего массива, параметров разработки месторождений, технологических качеств руд, оценки состояния массивов комплексными способами на моделях и по данным статистической отчетности.

Научная новизна. Развитие основ технологий проектирования горнодобычных процессов, базирующихся на концепциях баз данных имитационного моделирования, экспертных и геоинформационных систем при добыче и первичной переработке руд путем использования в производстве новых по сравнению с существующими технологий осуществления производственных процессов на стадии горного передела.

Практическая значимость. Использование установленных исследованиями системных связей и закономерностей в процессе управления позволяет в рамках информационной системы рутинного горнодобывающего предприятия формализовать принципы взаимодействия проектного органа, пользователей и объектов эксплуатации на основе анализа и синтеза системы управления риском ошибки проекта и разработать модели управления горным производством с повышением эффективности и безопасности добычи полезных ископаемых с корректировкой управляющих воздействий на всех стадиях существования объекта.

Результаты. Приведена оценка состояния информационного обеспечения современного горнодобывающего производства, ориентированного преимущественно на добычу твердых полезных ископаемых традиционными и новыми технологиями. Сформулированы основные аспекты его совершенствования. Предложены схемы многовариантного автоматизированного проектирования с поэтапной оптимизацией частных решений, автоматизированного проектирования является разработка системы управления геомеханикой массива при разработке месторождения, оценки соответствия проекта экологическим условиям, непрерывного мониторинга процессов с выдачей управляющих решений на этапах разработки месторождения. Рекомендованы методы исследования новых процессов извлечения металлов из некондиционного сырья.

Ключевые слова: информационное обеспечение, минеральные ресурсы, горное предприятие, анализ, технология, руда, проектирование, имитационное моделирование.

Голик В.І., Дзапаров В.Х., Харебов Г.З., Моркун В.С., Моркун Н.В., Тронь В.В. Інформаційні технології в проектуванні гірничодобувних об'єктів

Метою роботи є удосконалення форм і методів інформаційного забезпечення технологічних заходів, спрямованих на ефективний видобуток і комплексне використання видобутих мінеральних ресурсів на стадіях існування гірничодобувного підприємства.

Методи. Аналіз стану питання інформаційного забезпечення проводиться за літературними джерелами з даними передового досвіду, результатів дослідження рудовмісного масиву, параметрів розробки родовищ, технологічних якостей руд, оцінки стану масивів комплексними способами на моделях і за даними статистичної звітності.

Наукова новизна. Розвиток основ технологій проектування гірничодобувних процесів, що базуються на концепціях баз даних імітаційного моделювання, експертних і геоінформаційних систем при видобутку і первинній переробці руд шляхом використання у виробництві нових, у порівнянні з існуючими, технологій здійснення виробничих процесів на стадії гірничого відділення.

Практична значимість. Використання встановлених дослідженнями системних зв'язків і закономірностей у процесі управління дозволяє в рамках інформаційної системи рутинного гірничодобувного підприємства формалізувати принципи взаємодії проектного органу, користувачів і об'єктів експлуатації на основі аналізу і синтезу системи управління ризиком помилки проекту і розробити моделі управління гірничим виробництвом з підвищенням ефективності і безпеки видобутку корисних копалин з коригуванням управляючих впливів на всіх стадіях існування об'єкта.

Результати. Наведено оцінку стану інформаційного забезпечення сучасного гірничодобувного виробництва, орієнтованого переважно на видобуток твердих корисних копалин традиційними і новими технологіями. Сформульовано основні аспекти його удосконалення. Запропоновано схеми різноманітного автоматизованого проектування з поетапною оптимізацією частинних рішень, автоматизованого проектування є розробка системи управління геомеханіки масиву при розробці родовища, оцінки відповідності проекту екологічним умовам, безперервного моніторингу процесів з формуванням керуючих рішень на етапах розробки родовища. Рекомендовані методи дослідження нових процесів вилучення металів з некондиційного сировини.

Ключові слова: інформаційне забезпечення, мінеральні ресурси, гірниче підприємство, аналіз, технологія, руда, проектування, імітаційне моделювання.

UDC 62-408:622.012.2-023.7

Brovko D.V., Khvorost V.V., Tyshchenko V. Yu. Safe operation of surface objects

Purpose. Development of a system analysis of current risks of possible structural design defects and organizational reasons for accident as one of the methods for assessing the reliability of structural elements in the mine surface objects allows to control over operation safety.

Methodology. An analytical model for determining the risk assessment of a construction accident with collapse of structures has been developed. The technical condition of the mine surface object has been tested and the value of its actual survivability has been determined. To define the standard risk levels, the object is represented as a system consisting of connected groups of identical support elements. Modeling takes into account the key parameters including technical, human and organizational factors, as well as the cost for urgent safety work.

Scientific novelty. The scientific novelty of the method under consideration is an adequate description of reliability of surface mining objects structural elements, which takes its place among the up-to-date experimental studies of the industrial site safety.

Practical significance. The system analysis of the risks of possible design defects for determining the reliability of the object at some point in time and the safe residual resource has been developed. The proposed activities resulted in increasing cost and benefit assessment of implementing measures to reduce the risk of an accident based on the hazard identification. Final recommendations have been represented to manage the safe operation of the facility using the existing regulatory framework for labor protection.

Results. Three levels of risk are identified as follows: negligible risk, acceptable risk and unacceptable risk. The model that allows for systematic risk analyses of possible structural defects in construction by comparing its actual with acceptable boundaries has been obtained. The proposed methodology can be used to assess the survivability degree and the safe residual service life of an object.

Keywords: risk, accident, reliability, safety, residual resource.

Бровко Д.В., Хворост В.В., Тищенко В.Ю. Безопасная эксплуатация объектов поверхности

Цель Создание одного из методов оценки надежности элементов конструкций объектов поверхности шахт - системного анализа рисков возникновения возможных дефектов конструкций сооружения, которые могут привести к аварии, позволяющего управлять безопасностью при эксплуатации.

Методика. Разработана аналитическая модель определения оценки риска аварии сооружения (с обрушением конструкций), при котором произведена диагностика технического состояния объекта поверхности шахт и найдена величина его фактической степени живучести. Для определения стандартных уровней риска объект представляется в виде системы, состоящей из соединенных групп однотипных несущих элементов. При моделировании учтены основные параметры: технические, человеческие и организационные факторы, а также стоимость работ, связанных с повышением безопасности.

Научная новизна. Научная новизна предложенного в работе метода – адекватное описание степени надежности элементов конструкций объектов поверхности шахт, который займет свою нишу среди новых современных экспериментальных исследований безопасности сооружений промышленной площадки.

Практическая значимость. Создание метода системного анализа рисков возникновения возможных дефектов конструкций, который позволяет определять надежность объекта на определенный момент времени и безопасный остаточный ресурс. В результате проведения предложенных мероприятий повышается оценка затрат и выгод от реализации мероприятий по снижению риска аварии на основании проведенной идентификации опасности. Вырабатываются окончательные рекомендации по управлению безопасной эксплуатацией сооружения с использованием существующей нормативной базы по охране труда.

Результаты. Определены три области риска – пренебрежимо малый риск, приемлемый риск (который не настолько мал, чтобы с ним не считаться, но и не так велик, чтобы считать его чрезмерным) и неприемлемый риск (столь большой, что он считается чрезмерным). Получена модель, позволяющая выполнять системный анализ рисков возникновения возможных дефектов конструкций сооружения, при сравнении фактического с его допустимыми границами. Предложенная методика может быть использована на практике для оценки степени живучести и безопасного остаточного ресурса объекта.

Ключевые слова: риск, авария, надежность, безопасность, остаточный ресурс.

Бровко Д.В., Хворост В.В., Тищенко В.Ю. Безпечна експлуатація об'єктів поверхні

Мета Створення одного з методів оцінки надійності елементів конструкцій об'єктів поверхні шахт - системного аналізу ризиків виникнення можливих дефектів конструкцій споруди і організаційних причин, які можуть призвести до аварії, що дозволяє управляти безпекою при експлуатації.

Методика. Розроблено аналітичну модель визначення оцінки ризику аварії споруди (з обваленням конструкцій), при якому проведено діагностика технічного стану об'єкта поверхні шахт і знайдена величина його фактичного ступеня живучості. Для визначення стандартних рівнів ризику об'єкт представляється у вигляді системи, що складається із сполучених груп однотипних несучих елементів. При моделюванні враховані основні параметри: технічні, людські та організаційні чинники, а також вартість робіт, пов'язаних з підвищенням безпеки.

Наукова новизна. Наукова новизна запропонованого в роботі методу – адекватний опис ступеня надійності елементів конструкцій об'єктів поверхні шахт, який займе свою нішу серед нових сучасних експериментальних досліджень безпеки споруд промислового майданчика.

Практична значимість. Створення методу системного аналізу ризиків виникнення можливих дефектів конструкцій, який дозволяє визначати надійність об'єкта на певний момент часу і безпечний залишковий ресурс. В результаті проведення запропонованих заходів підвищується оцінка витрат від реалізації заходів щодо зниження ризику аварії на підставі проведеної ідентифікації небезпеки. Розроблюються остаточні рекомендації з управління безпечною експлуатацією споруди з використанням нормативної бази з охорони праці.

Результати. Визначено три області ризику - малий ризик, прийнятний ризик (яка не настільки малий, щоб з ним не рахуватися, але і не такий великий, щоб вважати його надмірним) і неприйнятний ризик (настільки великий, що він вважається надмірним). Отримано модель, що дозволяє виконувати системний аналіз ризиків виникнення можливих дефектів конструкцій споруди, при порівнянні фактичного з його допустимими межами. Запропонована методика може бути використана на практиці для оцінки ступеня живучості та без-небезпечного залишкового ресурсу об'єкта.

Ключові слова. Ризик, аварія, надійність, безпеку, залишковий ресурс.