

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ "Криворізький національний університет"

ГІРНИЧИЙ ВІСНИК

Науково-технічний збірник

Заснований у 1966 році

Випуск 104

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 № 104 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

Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О.В., Грищенко М.А. Випуск руди з малорухомої зони на лежачому боці покладу похилим очисним вибоєм	3
Шащенко А.Н., Скобенко А.В., Король В.И. Вероятностная модель возникновения акустических колебаний в призабойной области участка гетерогенного породного массива	8
Кравченко К.В., Кошеленко Є.В., Кошеленко А.О. Оцінка параметрів енергоефективності будівлі на прикладі 10-го корпусу НТУ «Дніпровська політехніка»	13
Подкопаєв С.В., Повзун О.І., Калініченко В.В., Вірич С.О. Моделювання кам'яновугільних в'язучих, модифікованих відходом виробництва полістиролу та наповнених коксовим вугіллям, для укріплення основ автомобільних доріг	18
Арутюнян В.Е. Актуальність використання мобільного інтернету для інформаційної системи масового оповіщення населення	24
Губин Г.В., Равинская В.О., Губин Г.Г., Ткач В.В. Загрязнение поверхности минеральных частиц и их очистка	27
Скачков А.А., Тітов Д.А., Жуков С.О. Развитие математического моделирования динамики выбуху пари свердловинних зарядів з урахуванням суперпозиції хвиль	31
Рязанцев М.О., Носач О.К., Рязанцев А.М., Кулівар В.В. Резонанс в гірському масиві при геодинамічних явищах	36
Тищенко С. В., Еременко Г. И., Малых Д. Ю. Анализ моделей взрывного разрушения твердой среды и механики хрупкого разрушения	42
Karabut N. O., Shvets D. V., Lukash S. O. Safe corporate network access	47
Сидоренко В.Д., Паламар А.Ю., Харевська В.В. Теоретико-методичні засади щодо встановлення меж земельних ділянок на які розповсюджується право земельного сервітуту	50
Колосов В.О., Маланчук З.Р., Письменний С.В., Ковбик К.М. Моделювання фізичних процесів гірського масиву в лабораторних умовах на статичних моделях	55
Федоренко П.Й., Переметчик А.В., Подойніцина Т.О. Геометризація та підрахунок запасів залізрудних родовищ	62
Тимченко Р. А., Кришко Д. А., Савенко В. О. Расчет подпорной стены со структурной поверхностью с учетом ее совместной работы с грунтом	65
Касаткіна І. В., Властюк В. П. Особливості корекції статичних характеристик вентильних двигунів із зворотним зв'язком за струмом	71
Жуков С.А., Луценко С.А. Исследование влияния параметров системы разработки на отставание вскрышных работ в карьере	76
Моркун В. С., Тронь В. В., Гапоненко И. А., Паранюк Д. И. Идентификация структуры горной породы в процессе бурения на основе ультразвуковых измерений	81
Рудь Ю. С., Белоношко В. Ю. Обоснование критерия и разработка метода оценки сложности структуры технологических систем на стадии их проектирования	87
Косенко А. В., Тарасютин В. М., Шепель О. Л. Комп'ютерне моделювання інтенсифікації технологічного процесу випуску руди під обваленими пустими породами	92
Жуков С. А., Костянский А.Н. Определение глубины этапа действующего железорудного карьера при разработке наклонных и крутых залежей	96
Долгих О.В., Долгих Л.В. Використання спостережних станцій для дослідження деформацій земної поверхні та будівель, розташованих поблизу зони провалля	102
Козакевич І.А., Касаткіна І.В., Єрмоєнко Л.В. Дослідження роботи синхронного двигуна з постійними магнітами в гібридних тягових електроприводах	106
Шолох М. В. Нормування готових до видобування балансово-промислових запасів залістистих кварцитів	111
Karabut N. O., Shvets D. V., Kiriluk E. I. Enterprise ergonomic lighting with the use of led technologies	117
Навивайко В.Г., Лосьєв К.В. Використання водного розчину ПАВ «Лексол» для зниження пиловиділення на прикладі кар'єра ПрАТ «ІНГЗК»	121
Шаповалова Н. Н., Богацький І.Ю., Штанько О. Ю. Розробка комплексної системи дистанційного контролю за рівнем забруднення виробничих стічних вод	125
Валовой О.І., Попруга Д.В., Ляльченко С.В., Чорна К.В. Виготовлення будівельних конструкцій армованих металевою і склопластиковою арматурою з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів	130
Шаповалова Н. Н., Печенін Р.В., Печеніна Н. А. Розробка навчальної платформи для побудови, навчання та дослідження моделей штучного інтелекту	136

<i>Паламар А.Ю., Сирбу А.В.</i> Теоретично-методичне обґрунтування робіт із землеустрою щодо зміни меж адміністративно-територіальних утворень	142
<i>Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Хоруженко І.В.</i> Дослідження впливу геометричних параметрів складчастого фундаменту-оболонки на величину несучої здатності основи	148
<i>Пересунько І.І.</i> Возможности применения мощных симметричных многоуровневых каскадных инверторов в электроприводе вентиляторами главного проветривания	153
<i>Сінчук І.О., Касаткіна І.В., Дозоренко О.В., Краснопольський Р.І.</i> Новий погляд на вирішення проблеми підвищення енергоефективності водовідливних установок залізрудних підприємств	157
<i>Савицький О.І., Тимошенко М.А.</i> Моделювання секції збагачення залізної руди за допомогою середовища програмування PAC Unity Pro XL	164
<i>Вусик О.О., Піжик А.М.</i> Застосування безвибухової технології відпрацювання гірських порід при використанні комбайнів фрезерного типу в умовах розробки залізрудних кар'єрів	168
<i>Єфіменко Л.І., Тиханський М.П., Тиханська А.М.</i> Визначення навантаження на став автоматизованого конвеєра від швидкості транспортування	173
АНОТАЦІЇ ..	
<i>А н о т а ц і ї ..</i>	179

М.І. СТУПНІК, В.О. КАЛІНІЧЕНКО, доктори техн. наук, професори,
О.В. КАЛІНІЧЕНКО, канд. екон. наук, доц., М.А. ГРИЩЕНКО, аспірант
Криворізький національний університет

ВИПУСК РУДИ З МАЛОРУХОМОЇ ЗОНИ НА ЛЕЖАЧОМУ БОЦІ ПОКЛАДУ ПОХИЛИМ ОЧИСНИМ ВИБОЄМ

Мета. Метою роботи є аналіз, дослідження та розробка ефективних варіантів випуску відбитої руди біля лежачого боку рудних покладів з недостатніми кутами падіння при формуванні похилого обмежуючого контакту відбитої руди з очисним вибоєм.

Методи дослідження. Виконано детальний техніко-економічний аналіз факторів і умов, які впливають на ефективність випуску відбитої руди з малорухомої зони біля лежачого боку покладів. Дослідження випуску відбитої руди виконувалось на лабораторних моделях з урахуванням масштабу моделювання.

Застосування методів фізичного моделювання, заснованих на теорії подібності, дозволив зробити висновки, які лягли в основу наукових та практичних рекомендацій з випуску відбитої руди при формуванні похилого обмежуючого контакту відбитої руди з очисним вибоєм.

Наукова новизна. Лабораторними дослідженнями встановлено оптимальні параметри пошарової відбійки руди, яка дозволяє здійснювати випуск відбитої руди з малорухомої зони на лежачому боці покладів з мінімальними втратами та розубоженням. Встановлено залежності товщини шару відбиваємої руди з урахуванням можливості отримання максимальних показників вилучення відбитої руди.

Практична значимість. Виконаними дослідженнями розроблена та запропонована ефективна технологія пошарової відбійки та випуску відбитої руди, яка дозволить підвищити ефективність випуску без додаткових витрат на формування уловлюючих виробок лежачого боку та інших заходів, які застосовують на шахтах для вилучення запасів малорухомої зони на лежачому боці покладів.

Результати. На підставі виконаних досліджень та встановлених залежностей запропоновані оптимальні варіанти технології пошарової відбійки та випуску відбитої руди при формуванні похилого обмежуючого контакту відбитої руди з очисним вибоєм. Доведена доцільність відбійки похилими шарами з формуванням обмежуючого контакту відбитої руди з очисним вибоєм. Запропоновано пошаровий випуск похилим потоком.

Ключові слова: лабораторні дослідження, руда, похилий забій, пошарова відбійка, пошаровий випуск, лежачий бік, втрати.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-3-8

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Особливості гірничих робіт в Криворізькому басейні, а саме збільшення глибини розробки, високий гірський тиск, відносно нестійкі руди звужують перспективи застосування ефективного поверхово-камерного очисного виймання та поверхового примусового обвалення руди і вміщуючих порід.

Тому, підземний видобуток природно багатих залізних руд у Криворізькому басейні здійснюється переважно підповерховими системами розробки з обваленням руди і вміщуючих порід.

З початку застосування підповерхового обвалення робилися неодноразові спроби підвищити показники вилучення руди. Однак кардинальних змін у цьому напрямку поки не досягнуто. Втрати і розубожування залізних руд залишаються стабільно високими і перспективи їх зниження малоїмовірні.

Одне із головних причин втрат – залишки руди на лежачому боці покладів, кут падіння яких змінюється від 40-45° на ш. Родіна до 55-65° на шахті імені Леніна. Тому дослідження та розробка ефективних варіантів випуску відбитої руди з малорухомих зон на лежачому боці покладів з недостатньо крутими кутами падіння є актуальною науковою та практичною задачею, яка потребує детального дослідження.

Аналіз досліджень і публікацій. Втрати руди на лежачому боці покладу залежать від гірничо-геологічних умов залягання родовища і в умовах Криворізького басейну можуть досягати 30-50% загальних запасів блоку [1-6]. У цих умовах найбільш дієвими заходами, спрямованими на зменшення обсягу руди, що залишається в межах малорухомої зони біля лежачого боку покладу, є проходка додаткових випускних виробок в породах лежачого боку [6].

Для зменшення втрат руди на лежачому боці покладу деякі дослідники [7] пропонують використовувати варіант системи підповерхового обвалення з формуванням рудних розділових ціликів.

Оскільки випускні отвори, пройдені біля висячого боку, менш ефективні, ніж дучки, пройдені біля лежачого боку, є пропозиції [8] перенесення їх на лежачу сторону, розділивши таким чином підповерх на дві приблизно рівні частини з тим, щоб здійснювати випуск руди тільки через виробки, пройдені в лежачому боці.

Чернокур В.Р., Шкробко Г.С., Шелегда В.І. зазначають [9], що при випуску відбитої руди під обваленими породами в покладах невеликої потужності з кутом падіння до 50-65°, значна частина її залишається в лежачому боці.

Ряд авторів [10-15] пропонує знизити втрати руди на лежачому боці покладу шляхом попереднього відпрацювання з лежачого боку очисної камери трикутної форми, заповнення виробленого простору пустими породами і подальшого відпрацювання блоку системою розробки з обваленням руди і вміщуючих порід.

В роботі [11] зазначено, що при відпрацюванні панелі, прилеглої до лежачого боку покладу системами з обваленням руди і вміщуючих порід до 30-50% руди втрачається в малорухомій зоні біля лежачого боку. Зниження втрат руди в зоні впливу лежачого боку автори бачать в випереджаючому відпрацюванні запасів цієї зони поздовжньою вертикальною компенсаційною камерою.

Інше рішення запропоновано в роботах [4, 5, 14], суть якого полягає в формуванні «піонер-камери» біля лежачого боку покладу.

Постановка завдання. Для зниження втрат руди на лежачому боці покладів необхідно розробити та дослідити варіанти технології пошарової відбійки та випуску відбитої руди при формуванні похилого обмежуючого контакту відбитої руди з очисним вибоєм. Тому метою даної роботи є аналіз, дослідження та розробка ефективних варіантів випуску відбитої руди з лежачого боку покладів з недостатньо крутими кутами падіння при формуванні похилого обмежуючого контакту відбитої руди з очисним забоєм.

Викладення матеріалу та результати. Обсяг руди, що залишився на лежачому боці до моменту початку розубожування (рис.1), можна знайти за формулою, запропонованою акад. Малаховим Г.М. [6]

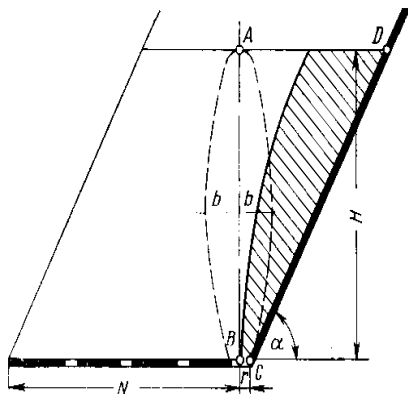


Рис.1. Схема до розрахунку обсягу руди, що залишається на лежачому боці до початку розубожування

$$p_0 = \left(\frac{H}{\operatorname{tg} \lambda} + d \right) \frac{H}{2} s - Q'_{эл}, \quad (1)$$

де H – висота обваленого шару руди, м; λ – кут падіння покладу, град.; d – діаметр випускного отвору, м; s – відстань між осями випускних отворів, м; $Q'_{эл}$ – об'єм еліпсоїда випуску, усіченого двома площинами, які проходять крест простягання по середині між випускними отворами, м³.

Із наведеної формули витікає, що обсяг руди, який залишається на лежачому боці в «мертвій зоні» покладу зростає зі збільшенням висоти поверху (підповерху) та зменшенням кута падіння покладу. Враховуючи те, що на сьогодні в Криворізькому залізрудному басейні системи розробки з поверховим обваленням руди і вміщуючих порід на застосовуються основну увагу в лабораторних дослідженнях було приділено підповерховим системам розробки. Дослідження виконувались в лабораторії випуску руди кафедри підземної розробки родовищ корисних копалин Криворізького національного університету.

Базова лабораторна модель для дослідження випуску відбитої руди представлена на рис.2. Потужність покладу складала 25 м, кут падіння покладу в першій серії був прийнятий 50°. Висота підповерху складала 35 м.

Для коректного порівняння результатів лабораторних досліджень перша серія експериментів була виконана за класичною технологією випуску відбитої руди із серії випускних воронок на основному горизонті випуску. Фізична картина результатів моделювання на проміжній та кінцевій стадіях випуску представлена на рис.3.

Значна кількість відбитої руди залишається на лежачому боці покладу, формуючи так називаєму «мертву зону», випуск якої з випускних воронок на основному горизонті випуску неможливий. Обсяг залишеної на лежачому боці руди «мертвої зони» складає для даних умов близько 45%.



Рис.2. Лабораторна модель для дослідження випуску відбитої руди

Існують додаткові заходи для подальшого вилучення залишеної на лежачому боці руди. Перш за все, це проведення додаткових уловлюючих воронок та виробок скреперування. Це найбільш розповсюджений та найпоширеніший захід на шахтах Кривбасу. Але він характеризується додатковими затратами на проведення виробок, проте не забезпечує повного вилучення руди з «мертвої зони» покладу.

Втрати руди по системі розробки все одно складають понад 15%, досягаючи іноді 20–25% при недостатньо крутих кутах падіння.



Рис. 3. Фізична картина результатів моделювання на проміжній (а) та кінцевій (б) стадіях класичної технології випуску відбитої руди

Для ліквідації вказаних втрат відбитої руди та підвищення показників вилучення та ефективності системи розробки в цілому нами запропонований варіант технології пошарової відбійки та випуску відбитої руди при формуванні похилого обмежуючого контакту відбитої руди з очисним забоем. Запропоновано пошаровий випуск відбитої руди похилим потоком.

Сутність запропонованої технології представлено на рис. 4, 5.

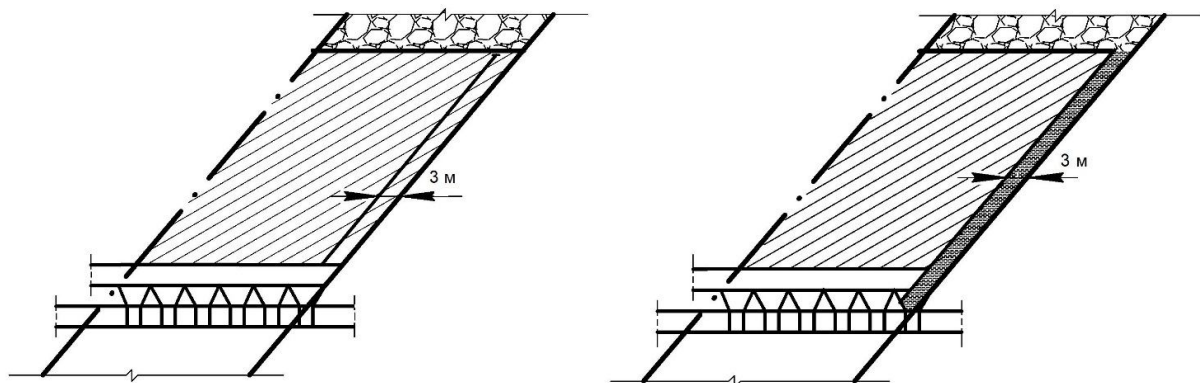


Рис.4. Схема розбурювання та формування похилого потоку першого шару відбитої руди



Рис.5. Стадії випуску похилого потоку першого шару відбитої руди із похилої щілини (камери) під прикриттям непорушеного рудного масиву: 1 – похила щілина; 2 – непорушений рудний масив

Аналогічно здійснюється відбійка і випуск наступних шарів руди до повного відпрацювання очисного блоку (панелі).

На рис. 6, 7 представлено стадії випуску третього шару відбитої руди

Позитивним моментом такої технології випуску є також ефект ущільнення пустих порід вибухом при послідовній відбійці шарів руди. Маючи ущільнений шар пустих порід в якості площини, по якій здійснюється випуск відбитої руди, показники вилучення характеризуються відсутністю розубоження руди пустими породами.

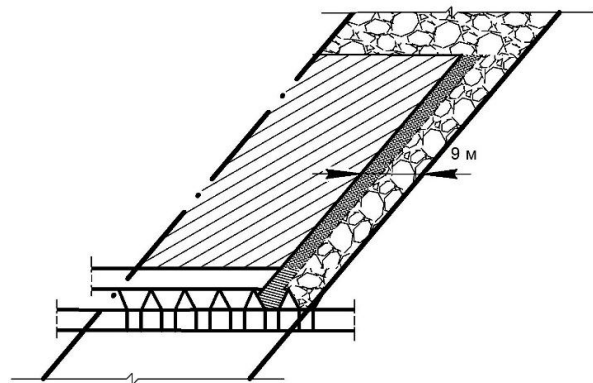
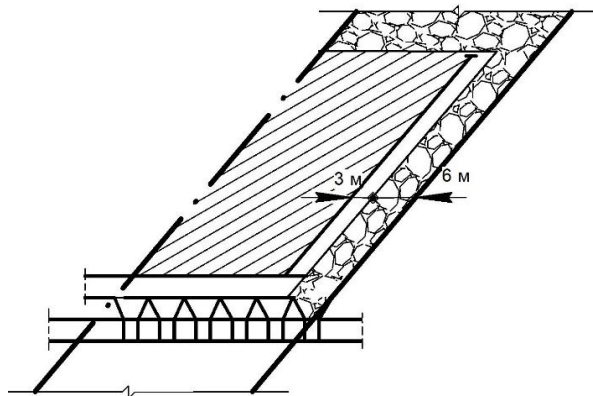


Рис.6. Схема розбурювання та випуску похилого потоку третього шару відбитої руди по ущільненим пустим породам

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином в представленій роботі виконано детальний техніко-економічний аналіз факторів і умов, які впливають на ефективність випуску відбитої руди з «мертвої зони» лежачого боку покладів. Лабораторні дослідження випуску відбитої руди на моделях очисних блоків з урахуванням масштабу моделювання дозволили визначити наступні закономірності.

Встановлено, що втрати відбитої руди в «мертвій зоні» лежачого боку покладів для даних умов моделювання складають близько 45 %. Проведення додаткових уловлюючих воронки та виробок скреперування дозволить знизити втрати до 15 – 20%, але ці заходи потребують значних матеріальних затрат.

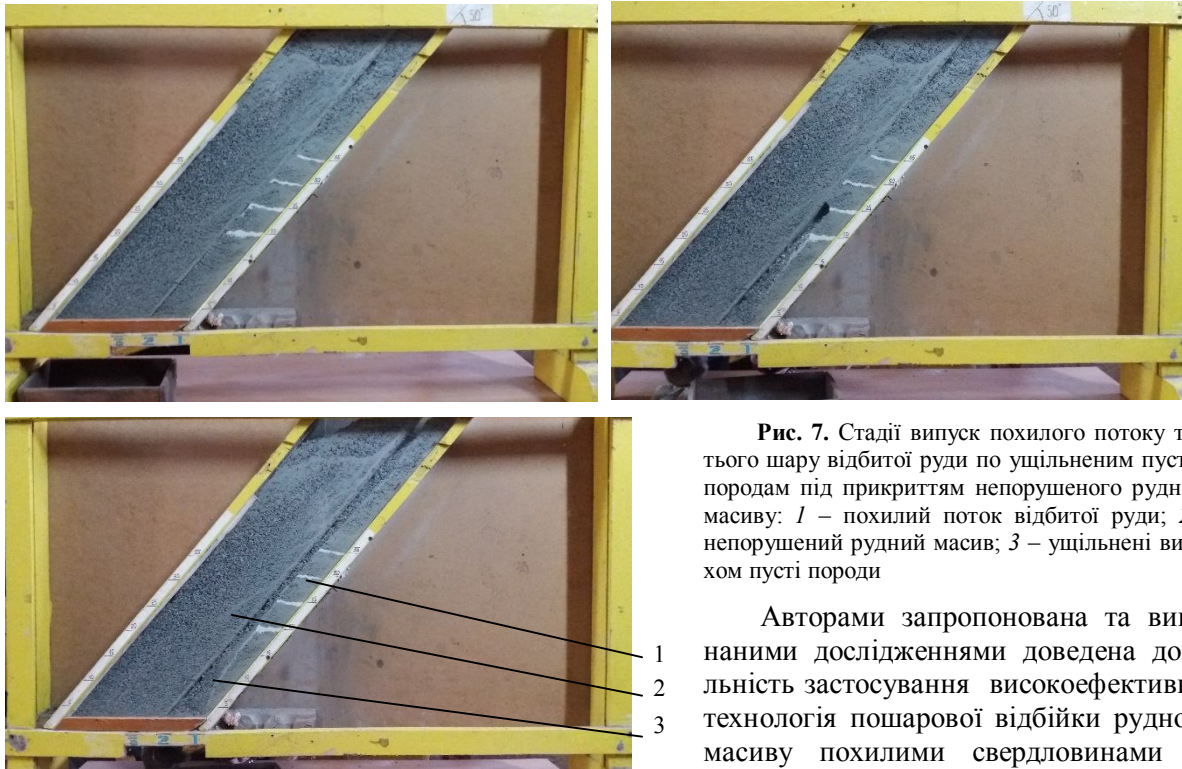


Рис. 7. Стадії випуск похилого потоку третього шару відбитої руди по ущільненим пустим породам під прикриттям непорушеного рудного масиву: 1 – похилий потік відбитої руди; 2 – непорушений рудний масив; 3 – ущільнені вибухом пусті породи

Авторами запропонована та виконаними дослідженнями доведена доцільність застосування високоефективної технологія пошарової відбійки рудного масиву похилими свердловинами та наступним пошаровим випуском відбитої руди.

При цьому випуск здійснюється похилим потоком по ущільненим пустим породам лежачого боку під прикриттям похилого контакту непорушеного масиву руди висячого боку.

Запропонована технологія дозволить підвищити ефективність випуску відбитої руди без додаткових затрат на формування уловлюючих виробок лежачого боку та інших заходів, які застосовують сьогодні на шахтах для вилучення запасів «мертвої зони» лежачого боку покладів.

Встановлено оптимальну ширину шару відбиваємої руди з урахуванням можливості отримання максимальних показників вилучення відбитої руди для даних умов.

Основним напрямком подальших досліджень є встановлення закономірностей випуску відбитої руди з «мертвої зони» лежачого боку для інших кутів падіння рудних покладів.

Список літератури

1. **Ступнік М.І.** Розробка та дослідження технології відпрацювання запасів блоків із застосуванням комбінованого високоефективного випуску руди / **М.І. Ступнік, В.О. Калініченко, О.Я. Хівренко, О.В. Калініченко, М.А. Грищенко, В.О. Теляпньов** // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2016. – Вип. 43. – С. 3–7.
2. **Калініченко О.В.** Підвищення показників вилучення залізних руд при випуску обваленої рудної маси на контакті з твердіючим штучним масивом / **О.В. Калініченко** // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2017. – Вип. 45. – С. 118–122.
3. **М. Stupnik, O. Kalinichenko.** Investigation of muck drawing in blocks with trapezoid sills. E3S Web Conf. Volume 60, art. no. 00021, 2018. (Scopus). Ukrainian School of Mining Engineering. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000021>
4. Пат. 48630 А Україна, МКИ Е 21 С 41/00. Спосіб розробки рудних покладів / **Калініченко В.О., Калініченко О.В.** (Україна); Заявл. 26.10.2001; Опубл. 15.08.2002, Бюл.№8. – 2 с.
5. **Калініченко В.А., Калініченко Е.В.** Повышение эффективности извлечения руды при системах с обрушением // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: Изд-во КТУ. - 2001. - Вып.74. – С. 65–68.
6. **Малахов Г.М.** Теория и практика выпуска руды / **Г.М. Малахов, В.Р. Безух, П.Д. Петренко.** – М. : Недра, 1968. – 311 с.
7. **Гогорин В.А., Ермакова И.А.** Прочность разделительных целиков при выпуске руды из блоков // Изв. вузов. Горный журнал. - 2005. - №2. - С. 27-31.
8. **Кудрявцев М.И., Баштаненко С.С., Зайцев И.Н.** К вопросу повышения эффективности системы поэтажного обрушения руды // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: Изд-во КТУ. - 2005. - Вып.88. – С. 41–45.
9. **Чернокур В.Р., Шкробко Г.С., Шелегда В.И.** Добыча руд с поэтажным обрушением. – М. : Недра, 1992. – 271с.

10. Колосов В.А. Повышение качества железорудной продукции и показателей работы шахт на основе совершенствования технологии добычи и переработки: Дис...докт. техн. наук: 05.15.02. - Кривой Рог, - 2002. - 446с.
11. Мартынов В.К., Кудрявцев М.С. К вопросу о снижении потерь на лежачем боку // Разработка рудных месторождений. – КГРИ. – М.: Недра, 1969. – С.53-57.
12. Совершенствование системы подэтажного обрушения / Сторчак С.А., Щелканов В.А., Витряк В.А., Сбитнев В.А., Хивренко В.О. // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ. – Вып. 74. – 2001. – С. 39-42.
13. Калініченко О.В. Зниження втрат і збіднення руди при відпрацюванні рудних тіл / М.І. Ступнік, В.О. Калініченко, С.М. Чухарев, О.В. Калініченко // Актуальные проблемы современной науки: тезисы докладов Международной научно-практической конференции (Москва-Будапешт-Вена, 27 марта 2015 г.) : тез. докл. – Москва-Будапешт-Вена, 2015. – С. 33–37.
14. Калініченко В.О. Развитие научных основ рационального использования сырьевой базы кривбасса при включении в разработку потерянных руд и магнетитовых кварцитов. Дис...докт. техн. наук: 05.15.02. - Кривой Рог, - 2008. - 332с.
15. Калініченко О. Дослідження та удосконалення процесу випуску відбитої руди в блоках с трапецієподібним днищем / М. Ступнік, О. Калініченко // Школа підземної розробки: тези доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції/редкол.: В.І.Бондаренко та ін.. – Д.:ЛізуновПрес.2018. -116с.

Рукопис подано до редакції 05.04.2018

УДК 622.817.4

А.Н. ШАШЕНКО, д-р техн. наук, проф., А.В. СКОБЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
В.И. КОРОЛЬ, канд. техн. наук

Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ПРИЗАБОЙНОЙ ОБЛАСТИ УЧАСТКА ГЕТЕРОГЕННОГО ПОРОДНОГО МАССИВА

Цель. Исследование процессов возникновения акустических колебаний в призабойной зоне отработываемого выбросоопасного пласта, как источника информации для его оперативной диагностики.

Методы исследований. Приведены результаты аналитических исследований процессов возникновения акустических колебаний в призабойной части участка гетерогенного породного массива. Показано, что в этой области имеет место множественное возникновение трещин-эмитентов акустических колебаний, размер которых равен 10^{-6} м.

Научная новизна. Исследования показали, что анализ акустических колебаний, возникших при разрушении локальной области угольного пласта, возможен только в вероятностно-статистической постановке путем анализа их структуры конкретного породного массива, частоты и интенсивности воздействия на него совокупности статических и динамических нагрузок.

Практическая значимость. Исследования амплитудно-частотных характеристик возникающих акустических колебаний в стохастически неоднородном углепородном массиве позволят повысить надежность и достоверность прогноза возникновения газодинамических явлений, используя новые параметры и критерии.

Результаты. При технологическом воздействии на призабойную зону напряженно-деформированного состояния участка выработки угольного пласта таково, что в области массива, непосредственно контактирующей с работающим органом комбайна, происходит множественное возникновение трещин, распределение числа которых по размерам подчиняется одному из вероятностных законов распределения. Это позволит в последующем, опираясь на результаты настоящих исследований, разработать вероятностно-статистическую модель распространения акустического сигнала по структурно неоднородному волноводу, каким является выбросоопасный газонасыщенный угольный пласт, и на этой основе предложить дополнительные критерии возникновения газодинамических явлений.

Ключевые слова: амплитудно-частотные характеристики, призабойная зона, выбросоопасный угольный пласт, источник акустических колебаний, скорость распространения звука, неоднородный углепородный массив, энергетический критерий разрушения

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-8-13

Проблема и её связь с научными и практическими заданиями. Использование искусственных акустических колебаний в качестве источника информационного о структуре породного массива, локализации силовых неоднородностей и т.п., на сегодняшний день является наиболее перспективным методом исследований. Известно, что акустические волны, проходя через породный массив, хорошо взаимодействуют с содержащимися в нем неоднородностями, которые ответственны за качество добываемого угля, возникновение газодинамических и динамических явлений. Кроме того, процессы распространения акустических колебаний в породном

массиве хорошо коррелируют с развитием трещиноватости, сопровождающей создание подземных искусственных полостей.

Анализ исследований и публикаций. Применительно к отработке выбросоопасного угольного пласта исследования [1] показывают, что источником акустических колебаний в породном массиве в исследуемой области спектра является процесс разрушения горных пород работающим органом комбайна, локализуемый в призабойной зоне пласта [2] (рис. 1). Отклик, образующейся при этом трещины на силовое воздействие, должен быть резонансным. Акустические сигналы, генерируемые в массиве при технологическом воздействии на пласт, независимо от параметров воздействия при мощности пласта около 1 м имеют пик амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), равный, примерно, 600 Гц.

Исследование принимаемых акустических сигналов обычно выполняют путем их разложения в ряд Фурье. При этом подразумевают, что вмещающие породы имеют физические характеристики, существенно отличающиеся от таких же – угольного пласта, а их свойства как акустического волновода нерегулярной структуры близки к идеальным.

При разложении возникшего акустического импульса в ряд Фурье можно выделить один сигнал со своей частотой и фазой

$$F(t) = A_i \cos(\omega_i t + \varphi_i), \quad (1)$$

где A_i , ω_i , φ_i – соответственно амплитуда, круговая частота и начальная фаза i -й составляющей акустического сигнала.

Анализ уравнения (1) позволяет получить информацию об акустических процессах, идущих в исследуемой области.

Постановка задачи. Исследование процессов возникновения и распространения акустических колебаний в призабойной зоне обрабатываемого выбросоопасного пласта, как источника информации для его оперативной диагностики.

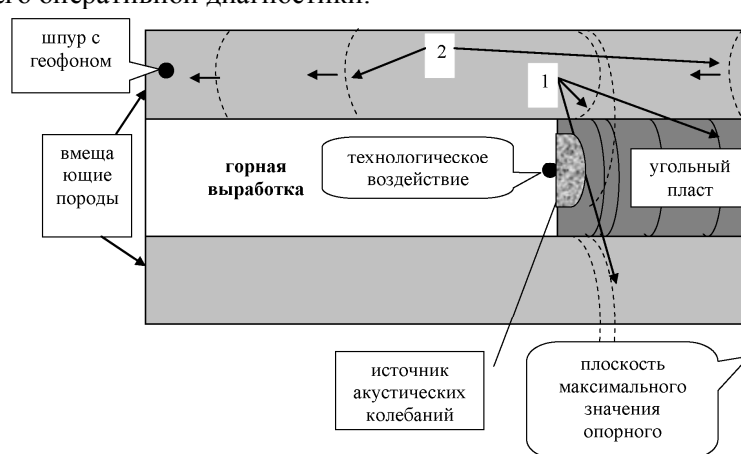


Рис. Участок в окрестности забоя лавы: 1 – акустические волны, идущие от источника колебаний; 2 – акустические волны, отраженные от плоскости максимума опорного давления

Изложение материала и результаты. Реальный массив представляет собой структурно неоднородную среду. По данным [3], в настоящее время выявлен широкий класс таких сред, к которым относятся и горные породы, структура которых характеризуется наличием различных включений типа зерен, пор, трещин, и т.п., определяющих их нелинейные свойства.

Каждый единичный акт возникновения трещины в твердом теле [4-6] сопровождается излучением кванта акустического излучения в окружающую среду. Энергия акустической волны, возникшей при раскрытии единичной трещины, может быть определена следующим уравнением

$$E_0 = h \cdot \nu_0, \quad (2)$$

где h – постоянная Планка, ν_0 – частота элементарной акустической волны, Гц.

Подставляя в (2) $\nu_0=600$ Гц, имеем $E_0 = h \cdot \nu_0 = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 600 = 2,16 \cdot 10^{-31}$ Дж/м³. Частота излучения может быть определена путем измерений [4-6] и равна

$$\nu = \frac{c}{\pi \cdot a \cdot n^2}. \quad (3)$$

где c – скорость акустических волн в породном массиве, м/с; n – число возникающих трещин, шт/м³.

Скорость распространения звука в горных породах в дальнейшем для простоты принимаем $c=2000$ м/с. Принимая, в соответствии с работой [7] структурную модель твердого тела в виде идеальной кристаллической решетки, по углам которой находятся частицы, удерживаемые силами связи, можно рассчитать величину усилия, которое потребуется, чтобы разорвать эту связь и тем самым разрушить деформируемое тело. А.А. Гриффитс [8, 9] показал, что прочность хрупких твердых тел определяется прочностью на разрыв структурных связей, существенно ослабленных за счет микродефектов. В осадочных породах, например, наличие микродефектов и трещин связано с генезисом и последующим метаморфизмом.

Для решения поставленной А.А. Гриффитс рассмотрел случай заданных нагрузок, как явно приводящий к разрушению образца при приложении некоторых критических нагрузок.

Пусть образец с сечением в единицу площади и длиной Y испытывает продольное растяжение внешней нагрузкой P , порождающей напряжения σ . В данном случае $P = \sigma$. Тогда энергия упругой деформации образца будет равна $Y\sigma^2/2E$. Если образец содержит трещину, которая расположена перпендикулярно к линии действия силы и имеет длину $2a$, то образец удлинится, что на основе решения Инглиса увеличит энергию деформации на $\pi\sigma^2 a^2/E$. Таким образом, полная энергия деформации станет равной

$$\frac{Y\sigma^2}{2E} + \frac{\pi\sigma^2 a^2}{E} = \frac{\sigma^2}{2E} (Y + 2\pi a^2). \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что эффективный модуль упругости образца с трещиной равен $2E/(Y+2\pi a^2)$. Трещина также приносит поверхностную энергию $Y=2a\cdot\gamma$, где γ – удельная поверхностная энергия, $\gamma = E_a r_a / 30$ [10], (r_a – радиус атома).

Работа w , совершаемая напряжением σ при удлинении образца, вызванном появлением трещины, равна

$$w = \sigma Y (\varepsilon_c - \varepsilon), \quad (5)$$

где ε – относительная продольная деформация образца при отсутствии трещины, а ε_c – то же, но после появления трещины.

Следовательно

$$w = \sigma^2 Y \left(\frac{Y + 2\pi a^2}{2E} - \frac{1}{E} \right) = \frac{2\pi\sigma^2 a^2}{E}. \quad (6)$$

Используя в качестве основного энергетический критерий разрушения, разрушающее напряжение определится следующим соотношением

$$\frac{d(2\pi\sigma_p^2 a^2 E^{-1})}{da} = \frac{d(4a\gamma E^{-1} + \pi\sigma_p^2 a^2 E^{-1})}{da}, \quad (7)$$

откуда

$$\sigma_p = \left(\frac{E\gamma}{\pi a} \right)^{0,5}. \quad (8)$$

В соответствии с теорией Гриффитса [7], величина элементарной трещины, возникающей при разрушении элемента породного массива и являющейся причиной возникновения элементарной акустической волны, равна: $a \approx 0,5 \cdot 10^{-6}$ м.

Опираясь на соотношение (3), можно примерно рассчитать число возникающих трещин при акте элементарного приращения разрушающего напряжения в элементе породного массива, в котором возникает акустическое излучение. Принимая $\nu = 600$ Гц, и $c = 2000$ м/с, получим: $n \approx 3000$ шт/м³.

В соответствии с данными работы [5], удельная энергия эмиссии акустических волн может быть определена следующим выражением

$$E_a = \mathcal{E}_0 \cdot n = 2,16 \cdot 10^{-31} \cdot 3000 = 6,48 \cdot 10^{-28} \text{ Дж/м}^3. \quad (9)$$

С другой стороны, энергия акустического излучения может быть определена по амплитуде и длительности импульса для дискретного спектра [11–13]

$$E_a = \sum_{i=0}^{\infty} (A_i)^2 \tau_i = \frac{1}{2} \rho \cdot u_i^2 \omega_{ij}^2, \quad (10)$$

где u_i – смещения; ω_{ij} – тензор вращения; τ_i – длительность импульса, ρ – плотность горной породы.

Соответственно, для непрерывного спектра последнее выражение приобретает вид

$$E_a = \int_0^{\infty} A(\tau) d\tau = \frac{1}{2} \rho \int_0^{\infty} u_0 du \int_0^{\infty} \omega d\omega. \quad (11)$$

где u_0 – величина начальных смещений, A – амплитуда единичного импульса.

Энергия импульса, согласно теореме Парсеваля, выражается следующим образом [6]

$$\int_0^{\tau} \sigma^2(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F^2(\omega) d\omega, \quad (12)$$

где $F(\omega)$ – члены ряда Фурье (см. выражение (10)) для импульса σ ; ω – частота спектральных членов.

В предположении, что импульсы имеют форму затухающей синусоиды [14], спектр одиночного импульса можно найти с использованием преобразования Фурье в виде

$$S = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt, \quad (13)$$

где $f(t) = A \cdot e^{-\alpha t} \sin \omega_0 t$.

Тогда ([14])

$$S = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-(\alpha+i\omega)t} \sin \omega_0 t dt = A \omega_0 / (\alpha^2 - \omega^2 + 2i\alpha\omega). \quad (14)$$

где ω_0 – собственная частота импульса,

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{\tau}, \quad (15)$$

где τ – длительность импульса.

Таким образом, получен сплошной спектр, начинающийся от 0 и имеющий максимум при частоте $\omega = \omega_0$ (при $\alpha = 0$ максимум расположен точно на частоте ω_0).

При частотах $\omega \ll \omega_0$ спектральная плотность определяется выражением

$$\psi \approx A \cdot \omega_0 / (\omega_0^2 + \alpha^2), \quad (16)$$

откуда следует, что спектральная плотность ψ в области низких частот пропорциональна амплитуде A импульса [14–16]. Выделившаяся при этом удельная энергия трещинообразования E_{mp} пропорциональна объему очага, то есть $E_{mp} \sim a^3$. Это значит, что при реализации элементарного приращения разрушающего напряжения в элементе породного массива выделяется энергия порядка $E_{mp} \sim (2 \cdot 10^{-6})^3 \cdot n \approx 8 \cdot 10^{-18} \cdot 3000 \approx 2,4 \cdot 10^{-16}$ Дж/м³.

Сравнивая полученные значения выделившейся энергии $E_{mp} \approx 2,4 \cdot 10^{-16}$ Дж/м³ и удельной энергии акустического излучения $E_a = 6,48 \cdot 10^{-28}$ Дж/м³ при этом процессе, можно сделать вывод о том, что их значения различаются почти на 12 порядков. Этот результат показывает, какая доля энергии при возникновении трещин в породном массиве расходуется непосредственно на акустическую эмиссию (АЭ), а какая идет на разрыв структурных связей.

Исследования амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) акустических колебаний, возникших в стохастически неоднородном породном массиве, приведенные выше являются осно-

вой для дальнейшего совершенствования прогноза газодинамических явлений на основе вероятностных критериев и параметров.

Выводы и направления дальнейших исследований.

1. При технологическом воздействии на призабойную зону напряжённо-деформированного состояния участка выработки угольного пласта таково, что в области массива, непосредственно контактирующей с работающим органом комбайна происходит множественное возникновение трещин, распределение числа которых по размерам подчиняется закону Вейбулла, или ему подобному, например равномерному, распределению Раммлера или Шумана.

2. Возникающие трещины служат генераторами акустических колебаний. При этом средний размер возникающих трещин находится в диапазоне порядка 10^{-6} м.

3. Определено число возникающих трещин-эмитентов при реализации элементарного прорыва разрушающего напряжения в единице объема.

4. Энергия, затрачиваемая на АЭ при возникновении трещин в породном массиве примерно на 12 порядков меньше общей величины энергии, выделяющейся при разрушении элемента породного массива.

5. Исследования амплитудно-частотных характеристик возникающих акустических колебаний в стохастически неоднородном углепородном массиве могут позволить осуществить прогноз вероятности возникновения газодинамических явлений, используя новые параметры и критерии.

6. Более детальный анализ акустических колебаний, возникших при разрушении локальной области угольного пласта возможен только в вероятностно-статистической постановке путем анализа их структуры конкретного породного массива, частоты и интенсивности воздействия на него совокупности статических и динамических нагрузок.

Список литературы

1. Обоснование параметров метода прогноза внезапных выбросов угля и газа на шахтах Донбасса // Отчет по теме ОБ-34 (заключительный). – Днепропетровск: НГУ, 2007. – 126 с.
2. **Крылов В.В., Ланда П.С., Робман В.А.** Модель развития акустической эмиссии как хаотизация переходных процессов в связанных нелинейных осцилляторах // Акустический журнал. – 1993. – Т. 39, №1. – С. 108-122.
3. **Беляева И.Ю., Зайцев В.Ю.** О предельном значении параметра упругой нелинейности структурно неоднородных сред // Акустический журнал. – 1998. – Т. 44. – №6. – С. 731-737.
4. **Колесников В.Г.** Управление разрушением напряженных пород с позиций динамической микромеханики // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины. – 1997. – №3. – С. 92 – 95.
5. **Колесников В.Г., Гроссу А.И.** Физические аспекты контроля деформирования и разрушения напряженных горных пород // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины. – 1997. – №3. – С. 97-100.
6. **Зорин А.Н., Халимендик Ю.М., Колесников В.Г.** Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых. – М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 2001. – 413 с.
7. **Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Гапеев С.Н.** Деформируемость и прочность массивов горных пород: Монография. – Днепропетровск.: Национальный горный университет, 2008. – 224 с.
8. **Griffith A.A.** The theory of rupture. – Proc. Int. Congr. Appl. Mech. – Delft. – 1924. – P. 55-63.
9. **Тимошенко С.П., Гудьер Дж.** Теория упругости. – М.: Наука, 1975. – 576 с.
10. **Петч И.** Металлографические аспекты разрушения // Разрушение, Т.1. – М.: Мир, 1973. – С. 376 – 420.
11. **Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А.** Геофизический контроль в шахтах и тоннелях. – М.: Недра, 1987. – 278 с.
12. **Паламарчук Т.А.** Теоретические предпосылки использования динамических характеристик акустических и электромагнитных полей для диагностики напряженного состояния массива горных пород // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины. – 1997. – №3. – С. 53-56.
13. **Паламарчук Т.А., Хохолев В.К., Приходченко В.Л.** Теоретические обоснования исследования процесса деформирования твердого тела методами АЭ и ЭМИ / Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины. Рук. Деп. в ВИНТИ 1989. – №3415. – В89.
14. **Виноградов С.Д.** Акустические наблюдения процессов разрушения горных пород. М.: Наука, 1964. – 84 с.
15. **Кузнецов В.М., Лившиц Л.Д.** О распределении по размерам фрагментов, образующихся при разрушении твердого тела // Изв. АН СССР Физика Земли. – 1984. – №2. – С. 16-26.
16. **Rosin P., Rammler E.** Die Kornzusammensetzung des Malgutes im Lichte der Warscheinlichkeitslehre // Kolloid. Zeitschrift. – 1934. – Н. 1. – В. 67. – P. 16-26.

Рукопись поступила в редакцию 08.04.2018

К.В. КРАВЧЕНКО, канд. техн. наук, Є.В. КОШЕЛЕНКО, асистент, А.О. КОШЕЛЕНКО, магістр, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ НА ПРИКЛАДІ 10-ГО КОРПУСУ НТУ «ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Мета. Робота присвячена питанню визначення енергетичної ефективності громадських будівель.

Актуальність даної теми зумовлена прийняттям у 2017 році Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» за яким сертифікація енергетичної ефективності будівель, які знаходяться у комунальній власності і підлягають термомодернізації, реконструкції, термосанації або приміщення яких здаються в оренду, є обов'язковою.

Методи дослідження. У роботі виконано аналіз енергоефективності будівлі на прикладі 10 корпусу НТУ «Дніпровська політехніка». Загальний показник енергетичної ефективності включає в себе втрати крізь огорожуючі конструкції, витрати енергії на підігрівання вентиляційного повітря, на охолодження, кондиціонування приміщення у період року з надлишковими теплонадходженнями та на гаряче водопостачання. У даній роботі основну увагу приділено визначенню та аналізу структури теплових втрат крізь огорожуючі конструкції будівлі. Основними напрямками термомодернізації будівлі наразі є удосконалення огорожуючих конструкцій та модернізація систем вентиляції і теплопостачання.

Практична значимість. Визначено співвідношення між втратами крізь окремі однорідні ділянки огорожуючих конструкцій – стіни, вікна, перекриття горища та підвалу.

Наукова новизна. Визначено питому енергопотребу будівлі, зумовлену втратами енергії крізь огорожуючі конструкції. На підставі отриманих даних розроблені рекомендації для впровадження заходів зі зниження втрат тепла в будівлі та оцінено очікуване зниження енергоспоживання будівлі в результаті доведення опору теплопередачі огорожуючих конструкцій будівлі до мінімальних нормативних значень.

Результати. Дана робота є частиною більшого дослідження енергетичної ефективності, яке охоплює окрім втрат крізь огорожуючі конструкції також витрати енергії системами кліматизації приміщень, витрати на гаряче водопостачання та на освітлення, що складає повний комплекс енергетичних витрат будівлі для визначення класу її енергетичної ефективності. За рахунок термомодернізації огорожувальних конструкцій можна зменшити втрати практично в 3 рази і після приведення термічних опорів огорожень до нормативних значень очікувані розрахункові втрати складуть $33,58 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$.

Ключові слова: енергозбереження, клас енергоефективності, питоме енергоспоживання.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-13-18

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Будівлі житлового, громадського та промислового призначення, які на даний момент експлуатуються в Україні здебільшого характеризуються низькою енергетичною ефективністю, тому проблема енергозбереження в будівлях охоплює не тільки житловий, але і громадський та промисловий фонди. Проблема підвищення енергетичної ефективності у промисловості займаються вже багато років і напрацьовані певні підходи до модернізації підприємств характерних для галузі промисловості [1]. Задача системного підвищення енергетичної ефективності будівель житлового та громадського секторів, зокрема будівель, які вже знаходяться в експлуатації, оцінкою їх поточного стану була актуалізована з прийняттям відповідного Закону «Про енергетичну ефективність будівель». Житлові і громадські будівлі, які будувалися в Україні в минулому, не відповідають сучасним вимогам до ефективного використання енергетичних ресурсів. Так, споживання теплової енергії для опалення будівель в Україні значно перевищує стандарти розвинених країн. Основними причинами такого положення є використання для спорудження будівель застарілих матеріалів і технологій. Це призводить до перевитрат палива для виробництва теплової енергії і, як наслідок, до надлишкових викидів парникових газів. Велика кількість будівель, збудованих за старими стандартами.

На даний момент значна частина українських вузів страждають від того, що їх будівлі не відповідають мінімальним вимогам щодо енергетичної ефективності, і тому «з'їдають» значну кількість коштів їх бюджету, які можна було б направити на закупівлю обладнання і поліпшення якості освіти та умов для навчання студентів.

Для того, щоб хоча б частково вирішити цю проблему, разом з Європейським інвестиційним банком у нас в Україні на державному рівні розробили і впроваджують проект для поліпшення енергоефективності громадських будівель. Колектив авторів з НТУ «Дніпровська Політехніка» бере участь у відборі серед вищих навчальних закладів у 2-му етапі проекту «Вища

освіта України». Метою проекту є термомодернізація будівель закладу вищої освіти, з метою зниження витрат на енергоносії та зменшення викидів CO₂, а також покращення умов навчання та роботи понад 10 тис. осіб студентів та співробітників закладу.

Аналіз досліджень і публікацій. Згідно до [2, 3] в Україні виділяють класи енергоефективності будівель А, В, С, D, Е і F. Спираючись на цю систему, стає зрозумілим, що будівлі класу А (найвищого) споживають набагато менше енергії, щоб підтримувати всі необхідні функції для забезпечення на об'єкті нормальних кліматичних умов. Сума оплати комунальних послуг також менше, ніж в будинках з низькою енергоефективністю. У класифікації враховують і ресурси, витрачені на загальнобудинкові потреби. Відзначимо, такою моделлю не одне десятиліття успішно користуються інші країни, і саме її принципи взяті за основу при розподілі на класи енергоефективності будівель.

Розрахувати енергоефективність об'єкта – важке завдання, для вирішення якої потрібно знати певні тонкощі і вміти проводити складні обчислення. Це один з основних етапів енергомоніторингу, який складається з дослідження будівельної документації на об'єкт, енергетичних обстежень, розробки та реалізації програм з енергозбереження та підвищення продуктивності споживання ресурсів. Розраховуючи енергоефективність, визначають, в якій кількості щорічно витрачаються кошти і носії на енергетичні потреби об'єкта – опалення, кондиціонування, вентиляцію, охолодження та гаряче водопостачання, а також окремо на освітлювальні потреби. Враховують при цьому певні критерії, наприклад, величину і складність конструкції. Перелік може включати в себе велику кількість параметрів.

Обов'язковий перелік заходів з теплової санації будівель включає заходи, виконання яких вимагають діючі норми проектування, а саме:

утеплення зовнішніх стін і даху будинку з метою підвищення їх термічного опору до рівня, який регламентований нормативними вимогами [4];

заміна вікон з метою підвищення їх опору проникнення повітря, а також з метою підвищення їх термічного опору відповідно до нормативних вимог [5];

встановлення приладів будинкового обліку споживання теплової енергії відповідно до вимог діючих норм;

встановлення будинкових приладів регулювання теплової потужності опалювальної системи, як це вимагають норми проектування опалення [6];

встановлення автоматичних індивідуальних терморегуляторів на опалювальних приладах. Ці роботи виконуються в разі заміни або модернізації існуючої опалювальної системи.

Аналіз існуючого стану енергоефективності будівель і споруд показує (рис.1), що основні втрати тепла через огорожуючі конструкції відбуваються через стіни, вікна та з видаленим вентиляційним повітрям і в меншій мірі через підлогу, стелю та двері [7]. Але в кожному окремому випадку систему енергоефективності будівлі або споруди потрібно розглядати окремо, через специфіку та особливості кожного окремого об'єкта, оскільки для об'єктів з різним співвідношенням між елементами огорожуючих конструкцій та різних часів побудови структура теплових втрат буде значно відрізнятися [8].



Рис. 1. Структура теплових втрат для типової будівлі

Оскільки кожна зі складових енергетичного балансу будівлі є досить вагомою, то пропонується на конкретному прикладі будівлі 10 корпусу розглянути втрати енергії через однорідні огорожуючі конструкції окремо і оцінити їх внесок у загальний показник енергоефективності будівлі.

Постановка задачі. Метою роботи є виконання енергетичного моніторингу навчального корпусу №10 НТУ «Дніпровська політехніка» для вирішення наступних задач:

визначення кількісних і якісних показників витрат тепла через огорожуючі конструкції; визначення причин їх виникнення; надання рекомендацій щодо зменшення втрат тепла.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання:

аналіз існуючої документації;

обстеження огорожуючих конструкцій будівлі 10 корпусу НТУ «Дніпровська політехніка»;

розрахунок і аналіз основних витрат тепла через однорідні огорожуючі конструкції.

Викладені матеріали та результати. На території центру міста Дніпро розташований кампус одного з найстаріших вищих навчальних закладів України Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», до складу якого входить корпус №10 (рис 2.). Основні геометричні, теплотехнічні та енергетичні показники 10-го корпусу наведені в табл. 1.



Рис. 2. Фасад корпусу № 10 НТУ «Дніпровська політехніка»

Для визначення показників енергетичної ефективності будівлі розробляється енергетичний паспорт будівлі за формою наведеною у [2]. В основу класифікації будинків за енергетичною ефективністю покладено рівень відносного відхилення розрахункових та нормативних значень питомих витрат теплової енергії на опалення (табл. 1 [2]).

Таблиця 1

Геометричні, теплотехнічні та енергетичні показники 10 корпусу

Показники	Позначення і розмірність показника	Нормативне значення показника	Розрахункове значення показника	Фактичне значення показника
Геометричні показники				
Загальна площа зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі:	$F_{\Sigma}, \text{ м}^2$		5197	
- стін	$F_{\text{шт}}, \text{ м}^2$		2785	
- вікон і балконних дверей	$F_{\text{спв}}, \text{ м}^2$		667,23	
- вхідних дверей, воріт	$F_{\text{д}}, \text{ м}^2$		20	
- покриттів (суміщених)	$F_{\text{лк}}, \text{ м}^2$		862,5	
- горищних перекриттів (холодних горищ)	$F_{\text{щ}}, \text{ м}^2$		862,5	
Площа опалювальних приміщень	$F_{\text{н}}, \text{ м}^2$		5338,7	
Опалювальний об'єм	$V_{\text{н}}, \text{ м}^3$		12882	
Коефіцієнт скління фасадів будинку	$m_{\text{ск}}$		0,182	
Показник компактності будинку	$\Lambda_{\text{к}}, \text{ буд}$		0,403	
Теплотехнічні показники				
Приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій:	$R_{\Sigma\text{пр}}, \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$			
- стін	$R_{\Sigma\text{пр шт}}$	3,3	5,287	0,939
- вікон і балконних дверей	$R_{\Sigma\text{пр спв}}$	0,75	0,75	0,4
- вхідних дверей, воріт	$R_{\Sigma\text{пр д}}$	0,6	0,6	0,3
- покриттів (суміщених)	$R_{\Sigma\text{пр пк}}$	4,95	4,95	1,15
- горищних перекриттів (холодних горищ)	$R_{\Sigma\text{пр г}}$	3,75	3,75	1,15
Енергетичні показники				
Розрахункові питомі тепловитрати (відповідно року будівництва)	$q_{\text{буд}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$		33,58	95,89
Максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будинку	$E_{\text{max}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$	72	-53,0	33,2

* при реконструкції допускається збільшити нормативне значення на 25%

Питомі тепловитрати на опалення будинку за опалювальний період $q_{\text{буд}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$ $[\text{кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^3]$

$$q_{\text{буд}} = \frac{Q_{\text{рік}}}{F_{\text{н}}}, \text{ або } q_{\text{буд}} = \left[\frac{Q_{\text{рік}}}{V_{\text{н}}} \right]. \quad (1)$$

Розрахункові витрати теплової енергії на опалення будинку під час опалювального періоду $Q_{\text{рік}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$, визначаються за формулою

$$Q_{\text{рік}} = [Q_{\text{к}} - (Q_{\text{ввл}} + Q_{\text{д}}) \cdot \nu \cdot \xi] \cdot \beta_{\text{к}}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{к}}$ – загальні тепловтрати будинку через огорожувальну оболонку, кВт год; $Q_{\text{ввл}}$ – побутові теплонадходження протягом опалювального періоду, кВт год; $Q_{\text{д}}$ – теплові надходження через вікна від сонячної радіації протягом опалювального періоду, кВт год; ν – коефіцієнт, що враховує здатність огорожувальних конструкцій будинків акумулювати або віддавати тепло під час періодичного теплового режиму; ξ – коефіцієнт авторегулювання подачі тепла в системах опалення; $\beta_{\text{к}}$ – коефіцієнт, що враховує додаткове теплоспоживання системи опалення, пов'язане з дискретністю номінального теплового потоку номенклатурного ряду опалювальних приладів, додатковими тепловтратами через позарадіаторні ділянки огорожень, тепловтратами трубопроводів, що проходять через неопалювані приміщення.

Загальні тепловтрати будинку через огорожувальну оболонку відповідно до вимог [2] розраховуються за формулою

$$Q_{\text{к}} = \chi_{\text{л}} \cdot K_{\text{буд}} \cdot D_{\text{д}} \cdot F_{\text{д}}, \quad (3)$$

де $\chi_{\text{л}} = 0,024$ - розмірний коефіцієнт; $K_{\text{буд}}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку, Вт/(м² К), визначається за формулою

$$K_{\text{буд}} = k_{\text{стпр}} + k_{\text{інф}}, \quad (4)$$

де $k_{\text{стпр}}$ – приведений коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку, Вт/(м² К).

У свою чергу приведений коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будівлі визначається за формулою

$$k_{\text{стпр}} = \xi \left(\frac{F_{\text{стп}}}{R_{\text{стпр стп}}} + \frac{F_{\text{стл}}}{R_{\text{стпр стл}}} + \frac{F_{\text{д}}}{R_{\text{стпр д}}} + \frac{F_{\text{ок}}}{R_{\text{стпр ок}}} + \frac{F_{\text{п}}}{R_{\text{стпр п}}} \right) / F_{\text{д}}, \quad (5)$$

де ξ – коефіцієнт, що враховує додаткові тепловтрати, пов'язані з орієнтацією огорож за сторонами світу, наявністю куткових приміщень, надходженням холодного повітря через входи в будівлю; $F_{\text{стп}}$, $F_{\text{стл}}$, $F_{\text{д}}$, $F_{\text{ок}}$, $F_{\text{п}}$ – площа відповідно стін (непрозорих частин), світлопрозорих конструкцій (вікон, ліхтарів), зовнішніх дверей і воріт, покриттів (горищних перекриттів), цокольного перекриттів, м²; $R_{\text{стпр стп}}$, $R_{\text{стпр стл}}$, $R_{\text{стпр д}}$, $R_{\text{стпр ок}}$, $R_{\text{стпр п}}$ – приведений опір теплопередачі відповідно стін, світлопрозорих конструкцій (вікон, ліхтарів), зовнішніх дверей і воріт, покриттів (горищних перекриттів), цокольних перекриттів, м² °С/Вт; підлог по ґрунту - з урахуванням їх поділу на зони із значенням опору теплопередачі; $F_{\text{д}}$ - внутрішня загальна площа огорожувальних конструкцій частини будинку, що опалюється з урахуванням покриття (перекриття) верхнього поверху й перекриття підлоги нижнього опалюваного приміщення, м².

Враховуючи складність розрахунку представленого вище, для початкового аналізу кожен елемент витрат через огорожуючі конструкції окремо розглянемо визначення кількості тепла, котра втрачається через 1м² огорожувальної оболонки стіни, вікна, даху і підлоги з формули

$$R_i = \frac{\Delta T}{q_i} \rightarrow q_i = \frac{\Delta T}{R_i}, \quad (6)$$

де q_i – кількості тепла, котра втрачається через 1м² огорожувальної оболонки i елементу (стіни, вікна, даху і полу), Вт/м²; ΔT – різниця температури між внутрішньою та середньою зовнішньою температурами приймається рівною 20⁰С; R_i – термічний опір матеріалу огорожувальної оболонки стіни, вікна, даху і підлоги, м² °С/Вт

Отримані результати розрахунку представлені в табл. 2 та 3.

Таблиця 2

Визначення кількості тепла, що втрачається через 1м² огорожувальної оболонки до виконання заходів з енергозбереження

Найменування елемента	R_i , м ² °С/Вт	F_i , м ²	q_i , Вт/м ²	% від загальних витрат	Потужність витрат крізь огорожуючі конструкції будівлі $q_{\text{ок}}$, Вт
Стіни	0,939	2785	21,30	12,33	59 318,42
Вікна	0,4	667,23	50,00	28,95	33 361,5
Двері	0,3	20	66,67	38,58	1 333,33
Перекриття горища	1,15	862,5	17,39	10,07	15 000,00
Перекриття підвалу	1,15	862,5	17,39	10,07	15 000,00
Разом				100	124 013,25

Визначення кількості тепла, що втрачається через 1 м² огорожувальної оболонки після виконання заходів з енергозбереження

Найменування елемента	$R_{\Sigma}, \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$	$F_{\Sigma}, \text{ м}^2$	$q_{\Sigma}, \text{ Вт/м}^2$	% від загальних втрат	Потужність втрат крізь огорожуючі конструкції будівлі $q_{\text{окс}}, \text{ Вт}$
Стіни	3,3	2785	6,06	8,04	16 878,79
Вікна	0,75	667,23	26,67	35,35	17 792,8
Двері	0,6	20	33,33	44,19	666,67
Перекриття горища	4,95	862,5	4,04	5,36	3 484,85
Перекриття підвалу	3,75	862,5	5,33	7,06	4 600,00
Разом				100	43 423,11

Таким чином, за рахунок приведення опорів теплопередачі огорожуючих конструкцій до нормативних вимог [2] очікується зниження потужності теплових втрат через огорожуючі конструкції будівлі на 65% або у 2,8 рази.

Визначимо річне розрахункове енергоспоживання на покриття теплових втрат крізь огорожуючі конструкції Q_p , тривалість опалюваного періоду приймаємо 172 доби або $T_{\text{он}}=4128$ год.

Тоді загальне розрахункове споживання енергії на покриття тепловтрат через огорожуючі конструкції становитиме:

до термомодернізації

$$Q_p^{\text{до}} = q_{\text{окс}} \cdot T_{\text{он}} = 124\,013,25 \cdot 4128 \cdot 10^{-3} = 511\,926,7, \text{ кВт}\cdot\text{год};$$

після термомодернізації

$$Q_p^{\text{піс}} = q_{\text{окс}}^{\text{піс}} \cdot T_{\text{он}} = 43\,423,11 \cdot 4128 \cdot 10^{-3} = 179\,250,6, \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

Питоме енергоспоживання на покриття тепловтрат через огорожуючі конструкції будівлі при загальній площі будівлі при опалюваній площі $F_h=5338,7$ м²:

до термомодернізації

$$E_p^{\text{до}} = Q_p^{\text{до}} / F_h = 511\,926,7 / 5338,7 = 95,89, \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2;$$

після термомодернізації

$$E_p^{\text{піс}} = Q_p^{\text{піс}} / F_h = 179\,250,6 / 5338,7 = 33,58, \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2.$$

Нормативне значення питомого енергоспоживання 6-7 поверховими будівлями у II-й кліматичній зоні України встановлено на рівні 72 кВт·год/м². Аналізуючи виконані оцінки теплових втрат крізь огорожуючі конструкції до термомодернізації, можемо зробити висновок, що наразі будівля не відповідає мінімальним вимогам до енергетичної ефективності і потребує виконання термомодернізації, поточний клас енергетичної ефективності будівлі може бути попередньо оцінений на рівні *F* або *G*. Після термомодернізації теплові втрати крізь огорожуючі конструкції значно менші за нормативну величину, проте при визначенні загальної енергопотребности будівлі враховуються також витрати теплової енергії на підігрівання вентиляційного повітря, задоволення потреб гарячого водопостачання, а також на кліматизацію приміщень у період надлишкових тепло надходжень – охолодження та кондиціонування, тому для визначення очікуваного класу енергетичної ефективності будівлі обов'язковим є врахування зазначених чинників.

Висновки та напрямок подальших досліджень. За результатами попереднього енергетичного моніторингу навчального корпусу №10 НТУ «Дніпровська політехніка» отримані наступні результати:

1. Основні втрати тепла через огорожуючі конструкції будівлі у відсотковому відношенні до загальних тепловтрат:

до виконання заходів з енергозбереження вікна 28,92 % та двері 38,59 %;

після виконання заходів з енергозбереження вікна 35,35% та двері 44,19%.

2. Загальні втрати тепла через огорожуючі конструкції з усієї площі будівлі складають Вт/м²:

до виконання заходів з енергозбереження 95,89 кВт·год/м²;

після виконання заходів з енергозбереження 33,58 кВт·год/м².

3. Роботи із забезпечення енергоефективності включають такі види: проведення перед-проектного, поточного та контрольного енергоаудитів, утеплення фасадів, заміна вікон, заміна дверей.

4. В ході реалізації запропонованих заходів очікується підвищення класу енергоефективності будівлі з F до C та максимальне наближення до нормативних вимог щодо припустимих витрат теплової енергії на опалення будівель, які існують в країнах ЄС.

Список літератури

1. **Голишев О.М.** Перспективи підвищення енергоефективності систем тепло забезпечення підприємств гірничо-металургійного комплексу в умовах дефіциту енергоресурсів / **О.М. Голишев, А.О. Голишев, Д.В. Михалків** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2016. – Вип. 41. – С.156-159.
2. ДБН Б В.2.6-31 “Теплова ізоляція будівель”. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65838 (дата звернення: 26.02.2018).
3. ДСТУ Б EN 15217 “Енергетична ефективність будівель. Методи представлення енергетичних характеристик та енергетичної сертифікації будівель”. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=56322 (дата звернення: 26.02.2018).
4. ДСТУ Б В.2.6-34 “Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Класифікація і загальні технічні вимоги”. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48458 (дата звернення: 26.02.2018).
5. ДСТУ Б В.2.6-17 “Конструкції будинків і споруд. Блоки віконні та дверні. Методи визначення опору теплопередачі”. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=4705 (дата звернення: 26.02.2018).
6. ДСТУ Б EN 15251:2011 Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики (EN 15251:2007, IDT) [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=28004 (дата звернення: 26.02.2018).
7. **Дешко В.І., Білоус І.Ю., Гончарук С.М., Гурська Ю.В.** Комплексне дослідження енергетичних характеристик будівлі. The scientific heritage. – 2017. – Vol. 9. – P. 63-68.
8. **І.М. Луценко, Є.В. Кошеленко, П.С. Циган.** Оцінка енергетичної ефективності огорожуючих конструкцій будівель // Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2018. – № 100. – С. 95-101

Рукопис подано до редакції 04.04.2018

УДК 622.333 – 033.26:625.06

С.В. ПОДКОПАЄВ, д-р техн. наук, проф., О.І. ПОВЗУН, В.В. КАЛИНИЧЕНКО,
С.О. ВІРИЧ, кандидати техн. наук, доценти
Донецький національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ КАМ'ЯНОВУГІЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ, МОДИФІКОВАНИХ ВІДХОДОМ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІСТИРОЛУ ТА НАПОВНЕНИХ КОКСОВИМ ВУГІЛЛЯМ, ДЛЯ УКРІПЛЕННЯ ОСНОВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Мета. Визначення оптимальних концентрацій відходу виробництва полістиролу (полістирольного пилу) та коксового вугілля у кам'яновугільних в'язучих для дорожнього будівництва.

Методи дослідження. Окрім стандартних методів визначення фізико-механічних властивостей органічних в'язучих речовин (глибина проникнення голки в градусах шкали пенетрометра, еластичність – прилад дуктилометр, температура розм'якшення – прилад «Кільце і куля») застосовано метод математичного планування експерименту.

Наукова новизна. Вперше проведено математичне й комп'ютерне дослідження системи «середовище, що модифікується (кам'яновугільний дьоготь), – полімер (відходи виробництва полістиролу – полістирольний пил) – активний дисперсний наповнювач (коксове вугілля). Розроблено математичну модель для оптимізації складу кам'яновугільних в'язучих, що відповідають зазначеній системі.

Практична значимість. Знаючи математично обчислені оптимальні концентрації полістирольного пилу та коксового вугілля, можна у виробничих умовах приготувати наповнене вугіллям дьогтеполістирольне в'язуче, яке за фізико-механічними властивостями і екологічними показниками наближається до бітуму нафтового дорожнього.

Результати. При оптимізації складу модифікованого полістирольним пилом та наповненого коксовим вугіллям кам'яновугільного в'язучого як фактори варіювання було прийнято: умовна в'язкість кам'яновугільного дьогтю за C_{30}^{10} , с (секунди); масова концентрація полістирольного пилу, %; масова концентрація коксового вугілля, %. Параметрами оптимізації є: глибина проникнення голки в градусах шкали пенетрометра, еластичність в'язучого при 0°C, м, температура розм'якшення в'язучого, °C. Оптимальні склади системи «дьоготь – полістирольний пил – коксове вугілля» визначали як оптимальні області допустимих значень факторів X_1 , X_2 , X_3 . Коефіцієнти рівнянь регресії об-

числено за методом найменших квадратів. Рівняння регресії являють собою поліном другого ступеня. Одержані рівняння регресії перевірено на адекватність і задовольняють критерію Фішера. Розраховано й побудовано тривимірні діаграми «параметри оптимізації системи – фактори варіювання». Відповідно до отриманих рівнянь регресії побудовано поверхні відклику у тривимірному просторі. Визначено області допустимих значень оптимальних концентрацій полімеру та активного дисперсного наповнювача у кам'яновугільних в'язучих, які відповідають граничним значенням функцій відгуку.

Ключові слова: кам'яновугільне в'язуче, полістирольний пил, коксове вугілля, моделювання, оптимізація.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-18-24

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Кам'яновугільні в'язучі (особливо рідкі) за фізико-механічними властивостями суттєво поступаються нафтовим бітумам [1]. Одним з ефективних способів поліпшення їхньої якості є введення до їх складу полімерів, що суміщаються з ними [2-4].

Малов'язкі кам'яновугільні в'язучі, у яких енергія теплового руху дисперсійного середовища (γ -фракція) дорівнює або більша за енергію зв'язку у вузлах макромолекулярної сітки, утвореної надмолекулярними структурами полімеру, слід зміцнювати ліофільними активними дисперсними наповнювачами [5].

Такими наповнювачами з високою структуруючою здатністю в дьогтеполімерних в'язучих можуть бути, наприклад, деревний гідролізний лігнін (відхід спиртового і дріжджового виробництва, який одержують у вигляді осаду хвойних і листяних порід деревини методом гідролізу розбавленою сірчаною кислотою), кубові залишки очищення дистиляції фталевого ангідриду (відхід коксохімічного виробництва), кам'яне вугілля різної стадії метаморфізму [6] тощо.

Аналіз досліджень та публікацій. Калориметричні дослідження в режимі сканування показали, що процес взаємодії кам'яновугільних дьогтів з полістирольним пилом є екзотермічним. Це доводить суміщеність полістиролу з кам'яновугільним в'язучим [7]. Визначено температуру розчинення полімеру, яка становить 105-110°C.

В роботі [8] викладено вивчені процеси структуроутворення в кам'яновугільних в'язучих, модифікованих відходами полістиролу (полістирольним пилом). В роботі [9] проведено математичне й комп'ютерне дослідження і оптимізацію системи «дьоготь – полістирольний пил». Доведено, що оптимальними концентраціями відходу виробництва полістиролу в кам'яновугільних дьогтях є 4,0-6,0% відповідно до їхніх в'язкостей $C_{30}^{10} = 75-250$ с, а термін приготування дьогтеполістирольного в'язучого становить 70-80 хвилин.

Постановка задачі. Використовуючи метод математичного планування експерименту, завданнями досліджень є:

визначення оптимальної умовної в'язкості кам'яновугільного дьогтю за C_{30}^{10} , с (секунди):

10 - діаметр стічного отвору приладу (стандартного віскозиметру), мм;

30 - температура матеріалу під час випробування, °C.

визначення оптимальної концентрації полістирольного пилу в кам'яновугільних дьогтях різної в'язкості;

визначення оптимальної концентрації коксового вугілля у дьогтеполістирольних в'язучих.

Викладення матеріалу та результати. В цій роботі як об'єкт дослідження було прийнято: середовище, що модифікується, - кам'яновугільні дьогті - складені із середньотемпературного пеку і антраценового масла;

полімер - полістирольний пил (ПС) ВАТ «Концерн «Стирол» (м. Горлівка Донецької області) - відхід виробництва цехів суспензійної полімеризації стиrolу, що утворюється під час відстоювання стічних вод. Це дрібнодисперсний порошок з максимальною крупністю частинок не більш за $6,3 \cdot 10^{-5}$ м. Дійсна густина цих відходів дорівнює 1050-1100 кг/м³, а насипна густина становить 650-720 кг/м³; молекулярна маса - $9 \cdot 10^4$ в.о.;

активний дисперсний наповнювач - коксове вугілля (КВ) середньої стадії метаморфізму з такими фізико-механічними властивостями: густина - 1190 кг/м³; вологість - 2,37%; вихід легких речовин - 26,9%; зольність - 0,94%; вміст вуглецю = 85,55%; вміст водню - 4,55%; вміст азоту - 1,49%; вміст кисню - 6,61%, коефіцієнт форми частинок вугілля - 0,8-1,0 тощо.

Наповнене дьогтеполістирольне в'язуче готували суміщенням кам'яновугільних дьогтів з полімером при температурі 105-110°C [7] спочатку впродовж 35 хвилин. Потім додавали меле-не коксове вугілля і ще перемішували 35 хвилин (разом 70 хвилин) [9].

Для визначення оптимальних концентрацій полістирольного пилу і коксового вугілля в кам'яновугільних дьогтях різних в'язкостей було прийнято композиційний несиметричний план на трьох цілочисельних рівнях (-1; 0; +1).

Оптимальні склади системи «кам'яновугільний дьоготь - полістирольний пил - коксове вугілля» визначали як оптимальні області допустимих значень факторів X_1 , X_2 , X_3 (табл. 1).

Ці оптимальні області обмежені поверхнями функції відгуку за кожним з параметрів оптимізації (табл. 2).

Таблиця 1

Система		Значення факторів варіювання			
		Фізичний зміст фактора варіювання			
		умовна в'язкість дьогтю за C_{30}^{10} , с	масова концентрація полістирольного пилу, %	масова концентрація коксового вугілля, %	
		X_1	X_2	X_3	
Дьоготь-ПС-КВ	Інтервал варіювання	100	2	20	
	Рівні фактора	-1	50	0	0
		0	150	2	20
		+1	250	4	40

Таблиця 2

Параметри оптимізації системи		
Код параметра оптимізації	Фізичний зміст параметра оптимізації	Граничні значення функції відгуку
Y_1	Глибина проникнення голки у в'язуче при 0°C, градуси шкали пенетрометра	>70
Y_2	Еластичність в'язучого при 0°C, %	>31
Y_3	Температура розм'якшення в'язучого, °C	>33

Глибину проникнення голки у в'язуче та його температуру розм'якшення в'язучих визначали відповідно до методик, викладених у лабораторному практикумі [10], а еластичність в'язучих - згідно з [11].

Матриця планування експерименту і значення параметрів оптимізації надані в табл. 3.

Таблиця 3

Матриця планування експерименту і значення параметрів оптимізації

X_1	X_2	X_3	Y_{11}	Y_{12}	Y_{21}	Y_{22}	Y_{31}	Y_{32}
-1	-1	-1	220	218	0	0	11	12
0	-1	0	94	93	0	0	18	19
1	-1	1	64	63	0	0	27	28
-1	0	0	94	93	45	44	26	27
0	0	1	52	54	35	34	36	37
1	0	-1	180	178	25	23	27	28
-1	1	1	56	57	38	39	37	38
0	1	-1	200	202	38	37	26	27
1	1	0	82	83	47	48	30	31
-1	-1	1	68	69	0	0	17	18
1	-1	-1	190	192	0	0	21	22
-1	1	-1	205	206	19	18	23	24
1	1	1	79	78	40	41	39	40

За критерій оптимальності плану прийнято критерій D -оптимальності, який пов'язаний з мінімізацією об'єму еліпсоїду розсіювання оцінок параметрів рівнянь регресії [12]. З урахуванням критерію оптимальності було побудовано план експерименту (табл. 4).

Для створеного плану експерименту (табл. 4) за методом найменших квадратів обчислено коефіцієнти рівнянь регресії за виразом [13]

$$b_i = (X^* \cdot X)^{-1} \cdot X^* \cdot Y, \quad (1)$$

де b_i - коефіцієнт рівняння регресії; X - матриця плану експерименту; X^* - транспонована матриця плану експерименту; $(X^* \cdot X)^{-1}$ - матриця, обернена до добутку матриці плану експерименту на його транспоновану матрицю; Y - вектор-стовпець результатів експерименту.

Матриця планування експерименту

X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	X_1^2	X_2^2	X_3^2
1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
1	0	-1	0	0	0	0	0	1	0
1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1
1	-1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
1	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1
1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
1	0	1	-1	0	0	-1	0	1	1
1	1	1	0	1	1	0	1	1	0
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Обробка результатів експерименту і визначення коефіцієнтів рівнянь регресії з урахуванням їх значущості дозволили одержати поліноміальні моделі [13-15] вигляду

$$Y_1 = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2. \quad (2)$$

Для кожного з параметрів оптимізації за формулою (1) обчислено коефіцієнти регресії, які підставлені в рівняння (2). Рівняння регресії для кожного параметра оптимізації мають такий вигляд

$$Y_1 = 82,67519 - 5,03727 \cdot X_1 - 1,93608 \cdot X_2 - 67,9568 \cdot X_3 + 4,067776 \cdot X_1 \cdot X_2 + 7,860795 \cdot X_1 \cdot X_3 + 1,8727 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,348688 \cdot X_1^2 + 8,35464 \cdot X_2^2 + 2,31893 \cdot X_3^2;$$

$$Y_2 = 40,03409 + 0,803301 \cdot X_1 + 18,33902 \cdot X_2 + 3,125271 \cdot X_3 + 2,247294 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,89015 \cdot X_1 \cdot X_3 + 2,466991 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,67668 \cdot X_1^2 - 14,4981 \cdot X_2^2 - 8,31953 \cdot X_3^2;$$

$$Y_3 = 29,94697 + 2,804654 \cdot X_1 + 6,090368 \cdot X_2 + 5,00487 \cdot X_3 - 2,0487 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,09632 \cdot X_1 \cdot X_3 + 1,953463 \cdot X_2 \cdot X_3 - 1,28734 \cdot X_1^2 - 4,85877 \cdot X_2^2 + 1,665043 \cdot X_3^2.$$

Відповідно до одержаних рівнянь регресії у тривимірному просторі побудовано діаграми поверхонь функцій відгуку (рис. 1-3) зі значеннями на них відповідного параметра оптимізації у 121 точці (табл. 5-7). Діаграми показують залежність кожного з параметрів оптимізації, а саме:

- глибина проникнення голки у в'язуче при 0°C, градуси шкали пенетрометра (1 град. шкали пенетрометра = 0,1 мм) (Y_1) (рис. 1);
- еластичність в'язучого при 0°C, % (Y_2) (рис. 2);
- температура розм'якшення в'язучого, °C (Y_3) (рис. 3);
- від: умовної в'язкості кам'яновугільного дьогтю за C_{30}^{10} (X_1);
- масової концентрації полістирольного пилу (X_2);
- масової концентрації коксового вугілля (X_3).

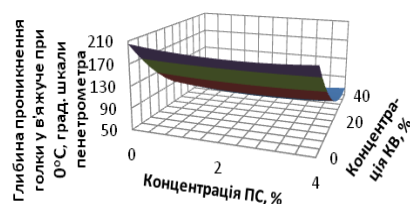


Рис. 1. Діаграма для глибини проникнення голки у в'язуче при 0°C при умовній в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 150$ с, (Y_1)

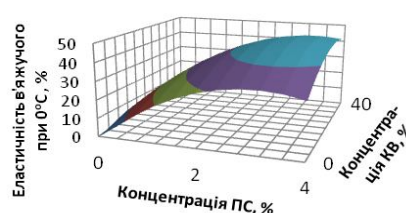


Рис. 2. Діаграма для еластичності в'язучого при 0°C при умовній в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 150$ с, (Y_2)

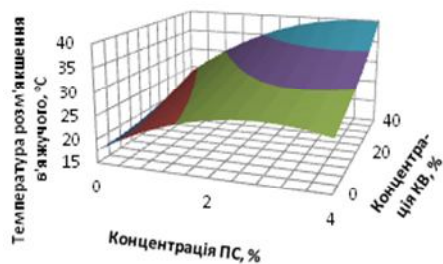


Рис. 3. Діаграма для температури розм'якшення в'язучого при умовній в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 150$ с, (Y_3)

Враховуючи те, що в цій роботі X_1 – це умовна в'язкість кам'яновугільного дьогтю, яка змінюється від $C_{30}^{10} = 50$ с (при $X_1 = -1$) до $C_{30}^{10} = 250$ с (при $X_1 = +1$) (табл. 1), а також граничні значення функції відгуку $Y_1 - Y_3$ (табл. 2), то, послідовно фіксуючи X_1 , $X_1 = 0$ та X_1 можна визначити масову концентрацію полістирольного пилу ПС (X_2) та масову концентрацію коксового вугілля (X_3) відповідно (табл. 1).

Таблиця 5

Значення глибини проникнення голки у в'язуче при 0°C на поверхні функції відгуку Y_1 , град. шкали пенетрометра

	Концентрація полістирольного пилю, %										
	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4
0	205,1143	201,3449	198,2438	195,8111	194,0468	192,9509	192,5233	192,7641	195,6733	195,2808	197,4968
4	175,9136	172,2191	169,1929	166,8352	165,1458	164,1247	163,721	164,0878	165,0719	166,7243	169,0451
8	150,0984	146,4788	143,5276	141,2447	139,6302	138,6841	138,4063	138,7969	139,8559	141,5833	143,979
12	127,6687	124,124	121,2477	119,0397	117,5001	116,6289	116,4261	116,8916	118,0255	119,8278	122,2984
16	108,6246	105,1548	102,3533	100,2203	98,75561	97,9593	97,83136	98,3718	99,5806	101,4578	104,0033
20	92,96591	89,57102	86,84451	84,78636	83,39659	82,67519	82,62216	83,2375	84,52121	86,4733	89,09375
24	80,69277	77,37279	74,72119	72,73795	71,42308	70,77659	70,79847	71,48872	72,84734	74,83433	77,56969
28	71,80515	68,56008	65,98338	64,07505	62,83509	62,26351	62,36029	63,12545	64,55898	66,6088	69,43115
32	66,30304	63,13287	60,63108	58,79766	57,63261	57,13594	57,30763	58,14769	59,65613	61,83294	64,67812
36	64,18644	61,09119	58,6643	56,90579	55,81565	55,39388	55,64048	56,55545	58,1388	60,39051	63,3106
40	65,45536	62,43501	60,0304	58,39943	57,3842	57,03734	57,35885	58,34873	60,00698	62,3336	65,3286

Таблиця 6

Значення еластичності в'язучого при 0°C на поверхні функції відгуку Y_2 , %

	Концентрація полістирольного пилю, %										
	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4
0	1,780844	6,6128788	13,846753	19,920779	24,834957	28,589286	31,183766	32,618398	32,89382	32,08817	29,963203
4	1,3458442	9,8382468	17,170801	23,343506	28,356364	32,209372	34,902512	36,435844	36,80907	36,02922	34,076688
8	3,8069697	12,398052	19,829286	26,100671	31,212208	35,363896	37,955736	39,587272	40,05987	39,372165	37,52461
12	5,6025325	14,292294	21,822208	28,192273	33,402489	37,452857	40,343377	42,074048	42,64487	42,05844	40,0697
16	6,7325325	15,520974	23,149567	29,618312	34,927208	39,076255	42,065455	43,894805	44,56407	44,07361	42,423766
20	7,1969697	16,084091	23,811364	30,378788	35,786364	40,034091	43,12197	45,05	45,81832	45,426515	43,875
24	6,9958442	15,981645	23,807597	30,473701	35,979957	40,326364	43,512922	45,539632	46,406494	46,13506	44,60671
28	6,1291558	15,213636	23,138268	29,903052	35,507987	39,953074	43,238312	45,363701	46,329242	46,134935	44,780779
32	4,5969048	13,780065	21,803377	28,66684	34,370455	38,914221	42,298139	44,522208	45,586429	45,490801	44,235325
36	2,3990909	11,680931	19,802922	26,765065	32,567359	37,209805	40,692403	43,015152	44,178052	44,181104	43,024307
40	0,464286	8,9162338	17,136905	24,197727	30,098701	34,839827	38,421804	40,842532	42,10413	42,20844	41,147727

Таблиця 7

Значення температури розм'якшення в'язучого на поверхні функції відгуку Y_3 , °C

	Концентрація полістирольного пилю, %										
	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4
0	17,611472	20,188009	22,375844	24,174978	25,585411	26,607343	27,240173	27,484502	27,34013	26,807056	25,885281
4	17,622338	20,277013	22,542987	24,42026	25,908831	27,008701	27,71987	28,042338	27,976104	27,521169	26,677532
8	17,766407	20,499221	22,843333	24,798745	26,365455	27,543463	28,332771	28,733377	28,745281	28,368485	27,602987
12	18,04368	20,854632	23,276883	25,310433	26,955281	28,211429	29,078874	29,557619	29,647862	29,349004	28,661645
16	18,454156	21,343247	23,843636	25,955325	27,678312	29,012977	29,988382	30,515065	30,683247	30,462727	29,833506
20	18,997835	21,965065	24,543593	26,73342	28,534545	29,94697	30,970693	31,605714	31,852035	31,709654	31,178571
24	19,674719	22,720087	25,376753	27,644719	29,523983	31,014545	32,116407	32,829567	33,154026	33,089784	32,63684
28	20,484805	23,608312	26,343117	28,689221	30,646623	32,215325	33,395325	34,186623	34,589221	34,603117	34,228312
32	21,428095	24,62974	27,442684	29,866926	31,902468	33,549307	34,807446	35,676883	36,157619	36,249654	35,952987
36	22,504589	25,784372	28,675455	31,177835	33,291515	35,016494	36,352771	37,300346	37,859221	38,029394	37,800866
40	23,714286	27,072208	30,041429	32,621948	34,813766	36,616883	38,01299	39,057013	39,694026	39,942338	39,800948

Допустимі (оптимальні) значення масових концентрацій ПС (X_2) та КВ (X_3) для кожного параметра оптимізації (Y_1 - Y_3) визначали згідно з граничними значеннями функцій відгуку (табл. 2, в табл. 5-7 ці значення виділено заливкою) і вносили до табл. 8. Параметри оптимізації при умовних в'язкостях дьогтю $C_{30}^{10}=50$ с та $C_{30}^{10}=250$ с мали аналогічні значення.

За допомогою метода інтервалів встановлено, що оптимальною системою «кам'яновугільний дьоготь - полістирольний пил (ПС) - коксове вугілля (КВ)» буде за масових концентрацій 1,6-4,0% ПС (X_2) та 24-28% КВ (X_3) (табл. 8).

Область допустимих значень масових концентрацій полістирольного пилю (X_2) та коксового вугілля (X_3)

Параметр оптимізації	Фактори варіювання	
	Масова концентрація полістирольного пилю, %, (X_2)	Масова концентрація коксового вугілля, %, (X_3)
Глибина проникнення голки у в'язуче при 0°C, градуси шкали пенетрометра, (Y_1)	$0 < X_2 < 4$	$0 < X_3 < 8$
Еластичність в'язучого при 0°C, %, (Y_2)	$1,6 < X_2 < 4$	$0 < X_3 < 40$
Температура розм'якшення в'язучого, °C, (Y_3)	$1,6 < X_2 < 4$	$24 < X_3 < 40$

Висновки та напрямок подальших досліджень. Вперше проведено математичне й комп'ютерне дослідження і оптимізацію системи «кам'яновугільний дьоготь – полістирольний пил (ПС) – коксове вугілля (КВ)». За допомогою методів математичного планування експерименту на підставі розробленої математичної моделі та розрахованих й побудованих тривимірних діаграм «параметри оптимізації системи - фактори варіювання» доведено, що оптимальними концентраціями полістирольного пилю в кам'яновугільних дьогтях в'язкостями $C_{30}^{10} = 50-250$ с є 1,6-4,0%, а коксового вугілля - 24-28%.

Подальші дослідження будуть присвячені виявленню доцільності застосування оптимальних дегтеполістирольних в'язучих, наповнених коксовим вугіллям, для зміцнення основ автомобільних доріг з горілих порід шахтних териконів.

Список літератури

1. **Пактер М.К.** Перспективы получения дорожных органических вяжущих на основе твердых горючих ископаемых. I. Коксохимическое сырье / **М.К. Пактер, В.И. Братчун, В.Л. Беспалов** и др. // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури: зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. – Макіївка, 2010. – Вип. 1 (81). – С. 22-35.
2. **Володько В.П.** Применение дегтеполимерных вяжущих при устройстве дорожных покрытий [В.П. Володько, А.Л. Хорошуля, М.Д. Круцык и др.] // Автомобильные дороги, 1979. – № 10. – С. 24-25.
3. **Даценко В.М.** Дьогтеполімерні бетони підвищеної довговічності на основі в'язучих, модифікованих відходами виробництва стиролу та полістиролу: автореф. дис. на здобуття наукового ступ. канд. техн. наук / **В.М. Даценко**. – Харків, 2006. – 18 с.
4. **Братчун В.І.** Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів: Монографія / **В.І. Братчун, В.О. Золотарев, М.К. Пактер та ін.**. – МОН України, Макіївка – Харків: ДонНАБА, 2011. – 366 с.
5. **Гохман, Л.М.** Комплексные органические вяжущие материалы на основе блоксополимеров типа СБС / **Л. М. Гохман** // Учебное пособие. — М.: ЗАО «ЭКОНОМ - ИНФОРМ», 2004. – 510 с.
6. **Братчун В.И.** Модифицированные дегти и дегтебетоны повышенной долговечности: Монография / **В.И. Братчун, В.И., Золотарев**. – МОН України, Макеевка: ДонГАСА, 1998. – 226 с.
7. **Повзун О.І.** Горілі породи, укріплені кам'яновугільним в'язучим, – ефективний конгломерат в основах автомобільних доріг / **Повзун О.І., Вірич С.О., Кононихін С.В.** // Вісник КНУ. – Кривий ріг, 2015. – Вип. 39. – С. 8-13.
8. **Повзун О.І.** В'язуче для укріплення горілих порід шахтних териконів в основах дорожніх одягів / **О.І. Повзун, О.С. Парфенюк, С.О. Вірич та ін.** // Вісник КНУ. – Кривий ріг, 2016. – Вип. 41. – С. 59-64.
9. **Повзун О.І.** Оптимальне кам'яновугільне в'язуче, модифіковане відходами виробництва полістиролу, для укріплення горілопородних основ автомобільних доріг / **О.І. Повзун, С.В. Подкопаєв, О.В. Фролов та ін.** // Гірничий вісник. – Кривий Ріг, 2016. – Вип. 101. – С. 111-118.
10. **Золотарев В.А.** Испытания дорожно-строительных материалов: лабораторный практикум; учебное пособие / **В.А. Золотарев, В.И. Братчун, А.В. Космин** и др.; под редакцией **В.А. Золотарева, А.В. Космина**. – Харьков: ХНАДУ, 2012. – 368 с.
11. **Гохман Л.М.** Влияние эластичности органических вяжущих на накопление остаточных деформаций в бинарных смесях / **Л.М. Гохман** // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2011. – № 1. – С. 31-33.
12. **Голикова Т.И.** Свойства D - оптимальных планов и методы их построения / **Т.И. Голикова, Н.Г. Микешина** // Новые идеи в планировании эксперимента. – М.: 1969. - С. 34-39.
13. **Кафаров В. В.** Методы кибернетики в химии и химической технологии / **В.В. Кафаров**. – М.: Химия, 1971. – 496 с.
14. **Налимов В.В.** Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / **В.В. Налимов, Н.А. Чернова**. - М.: Наука, 1965. - 30 с.
15. **Рузинов, Л.П.** Планирование эксперимента в химии и химической технологи [Текст] / **Л.П. Рузинов, Р.И. Слободчикова**. – М.; Химия, 1980.

Рукопис подано до редакції 06.04.2018

АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНОГО ІНТЕРНЕТУ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МАСОВОГО ОПОВІЩЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

Мета. Стаття передбачає обґрунтування актуальності використання мобільного інтернету для інформаційної системи масового оповіщення населення при надзвичайних ситуаціях, аналіз надійності та живучості системи оповіщення за допомогою мобільного додатку та використання мобільного інтернету в залежності від кількості базових станцій, радіоканалів та тривалості виклику.

Методи дослідження. В роботі представлено методи аналізу живучості мобільного зв'язку при надзвичайних ситуаціях. Проведено чисельні розрахунки деяких змодельованих ситуацій роботи з мобільним зв'язком, які дають змогу прогнозувати високу надійність використання мобільного інтернету для інформаційних систем масового оповіщення.

Наукова новизна. Науковою новизною роботи є запропонований аналіз живучості мобільного зв'язку при оповіщеннях у надзвичайних ситуаціях, в залежності від кількості базових станцій у кластері, від тривалості мобільного виклику та від числа радіоканалів у базовій станції.

Практична значимість. Результати представленого дослідження важливо враховувати при розробці систем масового оповіщення населення, які використовують мобільні додатки і мають потребу у мобільному інтернет-зв'язку та при використанні подібних систем для того, щоб оцінити їх переваги та недоліки і усунути останні.

Результати. Завдання масового оповіщення засобами мобільних девайсів активно розглядається як одне з рішень зарубіжними вченими, більшість яких дійшли висновку щодо максимальної ефективності при використанні смартфонів або телефонів в структурі систем оповіщення за допомогою мобільних додатків, які, в свою чергу, використовують для цього мобільний інтернет. Представлені в статті розрахунки показали високу надійність використання мобільного зв'язку засобами мобільного інтернету для систем масового оповіщення населення при надзвичайних ситуаціях. Висока живучість системи значною мірою досягається за рахунок коротких викликів, які є характерними для мобільного інтернету або SMS. Також з чисельного аналізу стає очевидним, що живучість такої системи масового оповіщення можливо значною мірою збільшувати шляхом перерозподілу радіоканалів зв'язку у кластері і збільшення їх кількості для базових станцій, які знаходяться в зоні стихійного лиха.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, система масового оповіщення населення, мобільний інтернет, мобільний додаток, базові станції мобільного зв'язку, радіоканали базових станцій

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-24-27

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. У сучасних умовах життєдіяльності суспільства, його технологічного розвитку, кількості об'єктів підвищеної небезпеки, вимоги до систем масового оповіщення населення у надзвичайних ситуаціях значно зросли через ускладненою розвиненою інфраструктури, збільшення щільності населення, підвищення ризиків техногенних і природних катастроф. Крім цього, масове використання смартфонів полегшує сьогодні можливості застосування мобільних додатків масового оповіщення, отже, виникає необхідність ефективно використовувати можливості сучасних мобільних пристроїв в системах масового оповіщення, а це неможливо без ефективно працюючого мобільного інтернету.

Аналіз досліджень і публікацій. Загалом, завдання масового оповіщення засобами мобільних девайсів активно розглядається як одне з рішень зарубіжними вченими. Muhammet S. Gulum зі своїми співавторами розглядали ефективність всіх існуючих систем оповіщення на прикладі Університету науки і технологій Міссурі і прийшли до висновку щодо максимальної ефективності при використанні смартфонів або телефонів в структурі систем оповіщення [1]. Дослідження Alessio Malizia також підтверджує ефективність використання мобільних пристроїв при масовому оповіщенні людей з фізичними або віковими особливостями [2].

Sih-Ting Zeng і Ching-Min Lee в своїй роботі пропонують використовувати мобільний додаток на смартфон для оповіщення населення, але смартфон в даному випадку буде використовуватися лише для отримання інформації про евакуацію, а сервер тільки для розсилки. Ніяких розрахунків для визначення ефективного плану евакуації або для його зміни в процесі роботи системи автори не запропонували [3].

Вчені Ryan Scott Rodkey, Guy Miasnik і Kimberly Zeitz зі своїми колегами також використовують в своїх розробках клієнт – серверну архітектуру і запропонували групувати клієнтів (потенційних потерпілих) за різними ознаками: місце розташування, зона ураження при над-

звичайній ситуації, місце роботи або навчання, та інші соціальні ознаки груп або об'єднань людей. Після угруповання існує можливість вже диференційовано підходити до оповіщення населення, але не вирішеною залишається проблема визначення оптимального плану евакуації, який був би більш ефективним і враховував не тільки угруповання потерпілих за різними ознаками, а також швидкість їх руху, кількість вільних місць у сховищах або точках збору [4-6].

Корейські вчені на чолі з професором Тае Нунг Кім запропонували використання системи «розумне місто» та технологій IoT для масового оповіщення населення. У даній інформаційній системі передбачається використання різних датчиків для миттєвого визначення надзвичайної ситуації і миттєвого оповіщення, питання розрахунків і зміни планів евакуації в даній роботі не розглядається [7].

Mohammed Ghazal спільно зі своїми колегами описав розробку веб-порталу, який також використовує архітектуру клієнт-сервер, для урядових установ, щоб повідомляти користувачів в межах діапазону небезпеки в разі аварії за допомогою SMS або push – повідомлень в мобільний додаток. Крім того, засобами технології WiFi в мобільному додатку передбачена система навігації усередині приміщень, для вказівки користувачеві шляху до найближчого виходу на планах громадських місць будівель, до яких можна отримати доступ в автономному режимі без підключення до інтернету. Дана система забезпечує потенційних потерпілих повідомленнями і статичними планами евакуації, які не можуть бути ефективними. Серверна частина використовується лише для визначення надзвичайної ситуації і відправки повідомлень клієнтам, зворотний зв'язок відсутній, як і відсутній розрахунок оптимального шляху евакуації [8].

Постановка задачі. Стаття передбачає обґрунтування актуальності використання мобільного інтернету для інформаційної системи масового оповіщення населення при надзвичайних ситуаціях, аналіз надійності та живучості системи оповіщення за допомогою мобільного додатку та використання мобільного інтернету в залежності від кількості базових станцій, радіоканалів та тривалості мобільного виклику.

Викладення матеріалу та результати. Характерною особливістю будь-якої надзвичайної ситуації є її непередбачуваність, раптовість, випадковість ураження об'єктів та складність прогнозування розповсюдження. Використання мобільного інтернету для систем масового оповіщення є доцільним через високу надійність та доступність даного типу зв'язку [9]. Основною характеристикою надійності системи масового оповіщення під час надзвичайної ситуації будемо вважати її живучість.

Для знаходження живучості мобільного зв'язку будемо користуватись формулою [10]

$$Sur = 1 - \sum_{k=0}^n C_N^k \cdot p^k \cdot (1-p)^{N-k} \cdot \frac{\rho^{m-k}}{\sum_{i=0}^{m-k} \frac{\rho^i}{i!}}, \quad (1)$$

де N – загальна кількість базових станцій у зоні лиха; k – число базових станцій, що не втратили працездатність; m – число радіоканалів у базовій станції; p – ймовірність виходу з ладу однієї базової станції; ρ – інтенсивність надходження викликів.

Чисельні розрахунки. Для чисельного аналізу живучості мобільного зв'язку для використання масового оповіщення населення будемо користуватись узагальненою формулою (1). Візьмемо до уваги три випадки залежності: від кількості базових станцій у кластері, від тривалості виклику та від числа радіоканалів у базовій станції.

Для розрахунку залежності живучості системи від кількості базових станцій у кластері рис. 1 візьмемо приклад, який близький до реальних умов. Працездатність однієї базової станції у зоні ураження надзвичайної ситуації візьмемо 0,5, інтенсивність надходження викликів за одну хвилину – 50, число радіоканалів у базовій станції – 20.

На рис.2 зображено залежність живучості системи від кількості базових станцій з даного графіку видно, що навіть при найгірших умовах, які було запропоновано, при збереженні половини базових станцій живучість системи буде на рівні майже 70%.

Для розрахунку залежності живучості системи від кількості радіоканалів використаних у базовій станції (див. рис. 3) візьмемо попередні умови роботи з заміною інтенсивності надходження викликів за одну хвилину на 30.

З графіку залежності (рис. 4) можемо зробити висновок про живучість системи на рівні 65%, навіть при використанні половини радіоканалів зв'язку від середньої їх кількості, що використовуються у базових станціях.

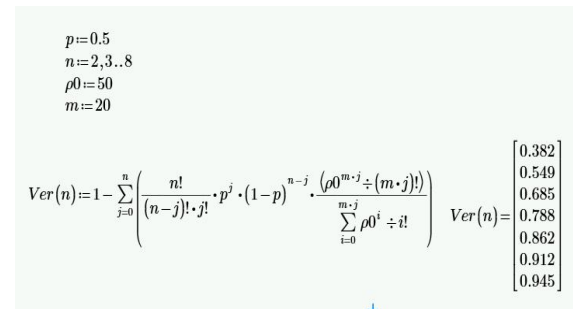


Рис. 1. Розрахунок залежності живучості від кількості базових станцій у кластері

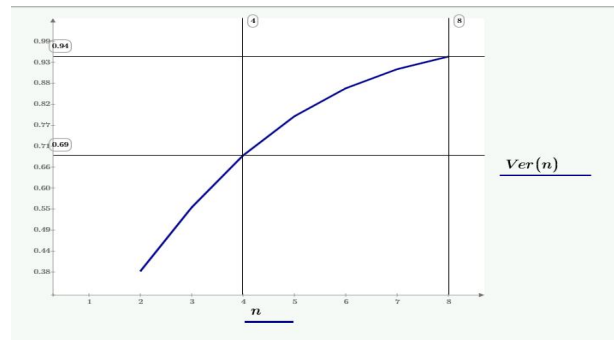


Рис. 2. Графік залежності живучості від кількості базових станцій у кластері

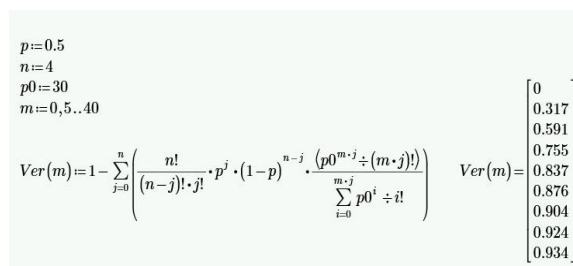


Рис. 3. Розрахунок залежності живучості від кількості радіоканалів використаних у базовій станції

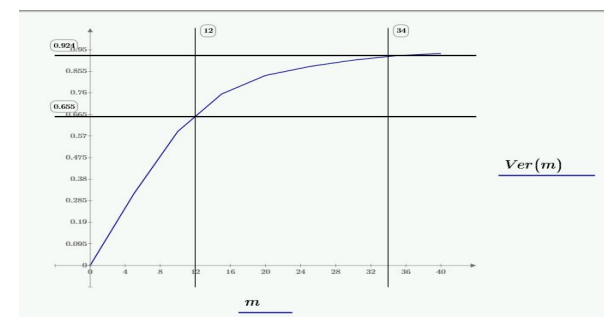


Рис. 4. Графік залежності живучості від кількості радіоканалів використаних у базовій станції

Для розрахунку залежності живучості системи від тривалості виклику (див. рис. 5) візьмемо попередні умови роботи, але зменшимо кількість базових станцій у кластері до 3, щоб показати актуальність використання мобільного інтернету для масового оповіщення.

З рис. 6 видно, що навіть при трьох базових станціях живучість системи для використання мобільного інтернету буде майже 90%, тому що мобільний трафік короткочасно використовує радіоканали зв'язку у базових станціях на відміну від дзвінків.

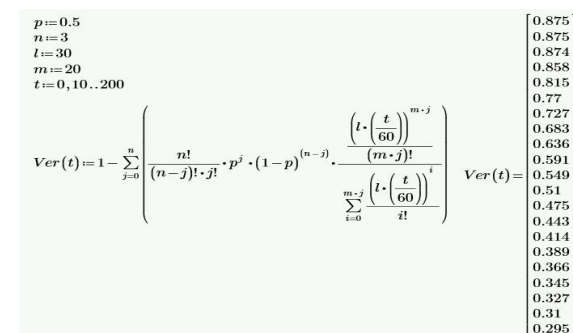


Рис. 5. Розрахунок залежності живучості від тривалості виклику

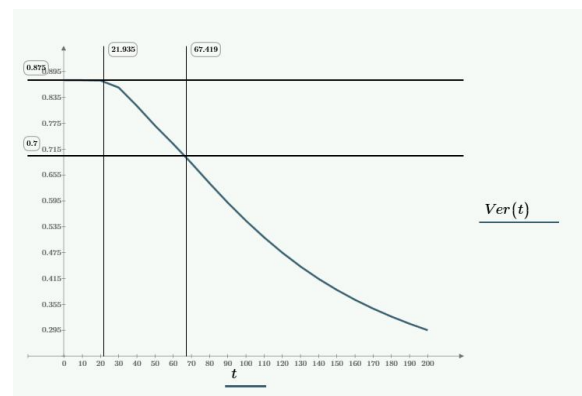


Рис. 6. Графік залежності живучості від тривалості виклику

Висновки та напрямок подальших досліджень. Аналіз результатів дослідження показав високу надійність використання мобільного зв'язку засобами мобільного інтернету для систем масового оповіщення населення при надзвичайних ситуаціях. Висока живучість системи значною мірою досягається за рахунок коротких викликів, які є характерними для мобільного інтернету або SMS. Також з чисельного аналізу стає очевидним, що живучість такої системи масового оповіщення можливо значною мірою збільшувати шляхом перерозподілу радіоканалів

зв'язку у кластері і збільшення їх кількості для базових станцій, які знаходяться в зоні стихійного лиха.

Список літератури

1. Muhammet S. Gulum, Susan L. Murray, Ph.D. P.E. Evaluation of the Effectiveness of a Mass Emergency Notification System. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 2014, doi: 10.1177/154193120905301863
2. Alessio Malizia, Teresa Onorati, Andrea Bellucci, Paloma Diaz, Ignacio Aedo. Interactive Accessible Notifications for Emergency Notification Systems. Universal Access in Human-Computer Interaction – Applications and Services. Proceedings of the 5th International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction, 2015, Part III, pp.385, doi:10.1007/978-3-642-02713-0_41
3. Sih-Ting Zeng, Ching-Min Lee. Personal emergency notification application design for mobile devices. 2014 International Symposium on Next-Generation Electronics (ISNE), 2014, doi: 10.1109/ISNE.2014.6839378
4. Ryan Scott Rodkey, John Frank Rodkey, David Lynn Hickey, Darren Lynn Ross, Ronald Frank Ramsey, Digital notification and response system. Patent RF, no: US7685245B1,2014
5. Guy Miasnik, Aviv Siegel, Predictive alert targeting for mass notification systems. Patent RF, no: US8542117B1,2016
6. Kimberly Zeitz, Randy Marchany, Joseph Tront "Speed isn't Enough: Usability and Adoption of an Optimized Alert Notification System", Technology and Society Magazine IEEE, 2016, vol. 35, no. 1, pp. 47-55.
7. Tae Hyung Kim, Ji In Chae, Do Nyun Kim, Next generation architecture examination for Mass Notification System(MNS) collaborating with CCTV for Smart & Safe City. Journal of Engineering Research and Applications www.ijera.com ISSN : 2248-9622, Vol. 5, Issue 3, Part -3 March 2015, pp.39-45
8. Mohammed Ghazal, Samr Ali, Marah Al Halabi, Nada Ali, Yasmina Al Khalil. Smart Mobile-Based Emergency Management and Notification System. IEEE 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW), 2016, doi: 10.1109/W-FiCloud.2016.64
9. **Арутюнян В.Е.** Сучасна клієнт-серверна модель програмного комплексу масового оповіщення у надзвичайних ситуаціях // Матеріали Другої міжнародної науково-технічної конференції "Комп'ютерні та інформаційні системи та технології". Харків.: ХНУРЕ, 2018. – С.69-71
10. **Ромашкова О.Н., Дедова Е.В.** Живучість безпроводних мереж зв'язи в умовах надзвичайної ситуації // Т-Comm: Телекомунікації и Транспорт, – 2014. – №6 – С.40-43

Рукопис подано до редакції 10.04.2018

УДК 622.7: 534

Г.В. ГУБИН, д-р техн. наук, проф., Криворожский национальный университет
В.О. РАВИНСКАЯ, начальник Испытательного центра ЧАО «Полтавский ГОК»
Г.Г. ГУБИН, В.В. ТКАЧ, кандидаты техн. наук, доценты
Криворожский национальный университет

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ И ИХ ОЧИСТКА

Целью работы является установление закономерности дезинтеграции техногенных сростков и флокул при магнитно-флотационном обогащении магнетитовых кварцитов за счет использования высокоэнергетического ультразвука в кавитационном режиме.

Методы исследования. Использован комплекс методов которые включали: рентгенофазовый и минеральный анализы продуктов обогащения кварцитов, измерение электрокинетического потенциала поверхности минералов; гранулометрический анализ, лабораторные исследования влияния действия электрохимической и ультразвуковой обработки на продукты обогащения магнетитовых кварцитов.

Научная новизна. В отличие от имеющихся положений об образовании техногенных сростков в операциях тонкого измельчения руд, установлено, что применение вертикальных мельниц приводит к обратному явлению - частичного оттирания поверхности минералов от посторонних наслоений вследствие замены в этих мельницах ударных нагрузок истирающими тангенциальными силами разрушения, что позволяет разработать технологию переработки пенных продуктов, получаемых в процессе флотационной доводки магнетитовых концентратов.

Впервые для дезинтеграции рудных флокулообразований и техногенных сростков перед флотационным обогащением разработан метод предварительной обработки железорудной пульпы, основанный на возникновении кавитационных процессов в воздушном пузырьке с помощью динамических эффектов высокоэнергетического ультразвука, что позволяет увеличить эффективность очистки от шламовых частиц поверхностей минералов питания флотации концентратов магнитной сепарации в 1,8 раза.

Практическое значение. Исследование процессов образования техногенных сростков и обработка их высокоэнергетичным ультразвуком позволяет улучшить технико-экономические показатели флотационной доводки магнетитовых концентратов при обогащении весьма тонковкрапленных железистых кварцитов, а также снизить K_2O и Na_2O в готовом продукте. Последнее очень важно, т.к. калий и натрий снижают прочность окатышей при низкотем-

пературном восстановлении их в доменных печах, что приводит к увеличению расхода кокса и снижению производительности печей.

Актуальность. К железорудным концентратам предъявляются высокие требования к их качеству, т.к. от этого зависят технико-экономические показатели работы металлургических агрегатов и возможность успешной реализации сырья на мировом рынке.

Результаты. Установлено, что электрохимическая и ультразвуковая обработка пульпы при обогащении магнетитовых кварцитов приводит к повышению качественно-количественным технологических показателей процесса и может быть использована для дальнейших укрупнённых исследований.

Ключевые слова: железистые кварциты, электрохимическая и ультразвуковая обработка пульпы при обогащении руды, техногенные сростки, очистка поверхности минеральных частиц от загрязнений.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-27-31

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Повышение качества концентрата и окускованого продукта, направляемого в металлургический передел, является одной из основных задач обогащения железных руд.

Исследования промпродуктов и конечных концентратов ГОКов показало, что после измельчения в барабанных шаровых мельницах и разделении частиц в магнитных сепараторах не удаётся получать чистые зёрна железосодержащих минералов и пустой породы. Основной причиной считалось наличие тонкой вкрапленности в минералах, механический захват пустой породы в магнитные флоккулы, снижение эффективности обогащения с увеличением тонины помола. Однако даже при измельчении крупнозернистых руд не выделяются свободные зёрна минералов. Одной из причин этого является загрязнение поверхности раскрываемых минералов шламистыми частицами, т.е. образование техногенных сростков [1-4].

Анализ исследований и публикаций. В ряде научных исследований показано, что поверхность крупных зёрен покрыта частицами других минералов размером (0,1-8) мкм, которые образуются в процессе измельчения, в магнитных полях сепараторов, в гидродинамических потоках классифицирующих и обогатительных аппаратов. Микроскопический анализ продуктов измельчения показывает, что поверхность крупных зёрен покрыта частицами в основном 0,2-0,4 мкм. Продукты разделения пульпы в гидроциклонах содержат техногенные сростки размером 5-8 мкм. Концентраты магнитного обогащения содержат конгломераты частиц крупностью 2-5 мкм.

Электронно-микроскопические исследования поверхности показали, что крупность шламистых частиц, закрепляющихся на поверхности минералов после измельчения, не превышает (0,5-1) мкм. Массовая доля этих частиц на поверхности крупных зёрен достаточна, чтобы существенно ухудшить качество продуктов разделения, а также изменить их технологические свойства [5, 6].

Процесс образования техногенных сростков связан с возникновением в измельчительных, обогатительных и классифицирующих аппаратах комбинации различных силовых полей, создающих условия для интенсивного взаимодействия поверхностей минералов. Такие покрытия относятся к классу «плёночных», механизм образования которых связан, в основном, с наличием на поверхности частиц ионно-электростатических и молекулярных силовых полей. О необходимости учёта при анализе этого явления физико-химических свойств минералов и жидкой фазы пульпы отмечается в [7, 8].

Постановка задачи. Одним из параметров, определяющих характер и степень взаимодействия дисперсных частиц в жидкостях (пульпа обогатительных фабрик), является величина и знак заряда поверхности минералов – дзета-потенциал (ζ) [9].

Этот параметр зависит от электрохимической характеристики пульпы, наличия и концентрации в ней ионов, физико-химического состояния и текстуры поверхности минералов, характер разрушения мономинеральных фракций в процессе измельчения и др. Среди различных способов воздействия на пульпу (с целью измельчения электрохимических свойств поверхности минералов) является электрохимическая обработка (ЭХО). Изучением и применением электрохимической обработки занимались многие исследователи, опубликовано значительное количество работ. Фундаментальные работы в этом направлении связаны с именем академика В.А.Чантурия и его сотрудников [10-12].

Экспериментальные исследования с частицами минералов железосодержащих руд выявили один из механизмов интенсификации процесса магнитной сепарации при использовании ЭХО

[13]. Он обусловлен растворением гидроксидной плёнки на поверхности минералов, а также восстановлением трёхвалентного железа до двухвалентного и появления микроскопического поверхностного слоя с повышенными магнитными свойствами. Вторым немаловажным следствием действия электрического тока в процессе ЭХО является изменение параметров молекулярно-электростатического взаимодействия частиц минералов в различной крупности в пульпе обогатительных и измельчительных аппаратов. Имеются данные о положительном влиянии ЭХО перед измельчением. Предварительная катодная обработка перед измельчением в барабанной мельнице положительно влияет на показатели последующей магнитной сепарации [14].

Согласно физической теории взаимодействия частиц в жидких фазах общая энергия взаимодействия двух частиц W_t представляет собой сумму энергий взаимодействия двойных электрических слоёв W_R и молекулярных сил сцепления W_A . Величина W_R зависит от знака и величины дзета-потенциала поверхности частиц и расстояния между ними. Вторая составляющая общей энергии взаимодействия частиц W_A обратно пропорциональна расстоянию между взаимодействующими поверхностями.

Изложение материала и результатов. Проведённые нами измерения показали, что дзета-потенциал основных минеральных частиц (магнетита, гематита и кварца) при обогащении магнетитовых кварцитов колеблется от -18,1 до -22,0 мВ и зависит от концентрации солей жёсткости в жидкой фазе пульпы, снижаясь с повышением жёсткости оборотной технической воды (табл. 1).

Установлено, что снижение дзета-потенциала частиц менее 12-15 мВ приводит к интенсивной их коагуляции в гравитационном силовом поле.

Таблица 1

Минерал	Дистиллированная вода	Водопроводная вода	Техническая вода
Магнетит	-38,2	-29,1	-20,5
Кварц	-53,4	-36,2	-25,0

Катодная обработка кратковременно повышает значение дзета-потенциала до -(40 -80) мВ. Действие ЭХО пульпы сохраняется в течение сравнительно продолжительного времени, снижаясь через 20 минут на (70-80) %, а в течение первых 1-5 секунд на (15-20) %. Длительность сохранения действия ЭХО после контакта с электродом достаточна для обеспечения величин энергетического барьера между частицами в измельчительных и обогатительных аппаратах.

Исследования налипания тонкодисперсных частиц на поверхности сравнительно крупных зёрен проводились с использованием шаровой лабораторной мельницы для ЭХО. Крупными зёрнами считали класс (-0,1+0,04) мм, а шламистыми частицами – минус 0,02 мм.

Чистота мономинеральных фракций составляла: кварца- (98,2±0,04) %, магнетита- (98,1±0,03) %.

Экспериментальные исследования показали, что поверхность загрязняется оксидами железа после совместного измельчения. Массовая доля $Fe_{общ}$ в кварцевом продукте повышается с 0,13 % до 0,67 % после измельчения с магнетитом и до 0,9 % после измельчения с гематитом (табл. 2).

Таблица 2

Массовая доля SiO_2 и $Fe_{общ}$ на крупных зёрнах до и после совместного измельчения, %

Минерал	До обработки УЗВ*	После обработки УЗВ
Кварц - 0,1+0,04 мм массовая доля $Fe_{общ}$		0,11±0,03
Магнетит -0,1+0,04мм массовая доля SiO_2		0,52±0,1
Гематит -0,1+0,04мм массовая доля SiO_2		0,75±0,1
Измельчение в мельнице без электровоздействий		
Измельчение кварца с магнетитом ($Fe_{общ}$)	0,67±0,04	0,41±0,03
Измельчение кварца с гематитом ($Fe_{общ}$)	0,90±0,05	0,67±0,06
Измельчение магнетита с кварцем (SiO_2)	8,64±0,4	0,43±0,35
Измельчение гематита с кварцем (SiO_2)	13,44±0,5	10,68±0,1
Измельчение с электровоздействием		
Измельчение кварца с магнетитом ($Fe_{общ}$)	0,42±0,08	0,22±0,05
Измельчение кварца с гематитом ($Fe_{общ}$)	0,62±0,07	0,52±0,05
Измельчение магнетита с кварцем (SiO_2)	3,28±0,4	±0,35
Измельчение гематита с кварцем (SiO_2)	7,73±0,1	4,72±0,1

*УЗВ – ультразвуковое воздействие

Катодная обработка в мельнице уменьшает степень загрязнения кварца на (31,1-37,3) %, а также снижает загрязнение магнетитовых и гематитовых частиц кварцем.

Ультразвуковая обработка продуктов измельчения позволяет получить более чистые зёрна кварца, измельченные в мельнице с ЭХО. Массовая доля $Fe_{общ}$ на кварце снижалась при этом до (0,22-0,52) % (абс).

Аналогичные результаты получены при измельчении зёрен магнетита и гематита с кварцем, массовая доля SiO_2 в магнетитовом и гематитовом продуктах возрастает после совместного измельчения с кварцем с 0,54 % и 0,72 % до 8,64 % и 13,44 % соответственно. Загрязнение минеральных зёрен железа шламистыми кварцевыми частицами при измельчении происходит значительно более интенсивно, чем при обратном процессе. Кроме того, степень загрязнения гематита выше, чем магнетита. Электровоздействия значительно снижают степень налипания кварцевых шламистых частиц на поверхности крупных зёрен магнетита и гематита. Массовая доля SiO_2 на поверхности магнетитовых и гематитовых частицах снижается в 2,64 и 1,74 раза соответственно. Прочность закрепления кварца после измельчения в мельнице с электровоздействиями ниже, чем после измельчения в обычной мельнице.

Различие в силе закрепления дисперсных частиц магнетита и гематита на кварце и их количество с использованием ЭХО объясняется следующим образом. Значения молекулярных сил притяжения при соприкосновении кристаллических решёток кварца и гематита выше вследствие подобия геометрий и периодов их кристаллических решёток и образования при измельчении ряда плоскостей с одномерным и двумерным геометрическим подобием [15]. Магнетит по геометрии и параметрам кристаллической решётки менее подобен кварцу. Поэтому, в этом случае электростатические силы отталкивания при взаимодействии частиц проявляются более существенно и прочность закрепления ниже.

В современных барабанных шаровых мельницах образование техногенных сростков происходит в результате преобладания ударных нагрузок над другими видами силовых воздействий. В настоящее время для измельчения руды всё большее распространение получают вертикальные мельницы, где в основном преобладает истирающая нагрузка. В этих мельницах происходит оттирка; частичная дефлокуляция механическим воздействием. Высокая эффективность оттирки показана в работе П.И.Пилова.

Однако даже после оттирки в вертикальной мельнице в последующих за измельчением операциях тонкоизмельчённый продукт подвергается воздействию гидромеханических и магнитных полей, что приводит к взаимному налипанию минеральных частиц и повторному образованию техногенных сростков. Разрушение последних требует дополнительных физико-химических воздействий, например, таких, как ультразвук и электрохимическая обработка. На рисунке приведены электронно-микроскопические снимки материала проб питания флотации Полтавского ГОКа до и после обработки ультразвуком.

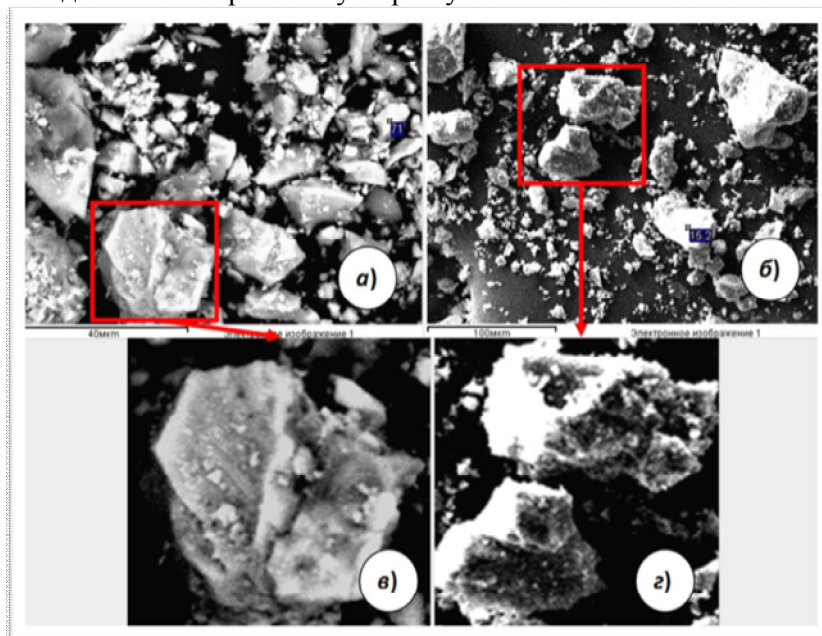


Рис. Электронные фотографии проб продукта питания флотации без УЗО (а) и после УЗО (б)
в, г – частица кварца в материале до и после УЗО

Показано, что сравнительно крупные частицы кварца покрыты тонкодисперсными частицами магнетита нерудных минералов. Применение ультразвуковой обработки диспергирует продукт и эффективно очищает поверхность частиц. Обработанное ультразвуковыми воздействиями питание флотации улучшает условия флотации и эффективность разделения.

Выводы. Таким образом, при тонком и весьма тонком измельчении руд создаются условия образования техногенных сростков для эффективного разрушения которых необходимо применять физические и физико-химические воздействия, например, ультразвук и электрохимическую обработку.

Список литературы

1. Губин Г.В., Ткач В.В., Орел Т.В., Плотников В.В. Особенности загрязнения поверхности минералов в процессе измельчения / Г.В.Губин, В.В. Ткач, Т.В. Орел, В.В. Плотников // Вісник Криворізького технічного університету, 2005. – Вып. 7. – С. 77-82.
2. Влияние минерального состава нерудной среды железистых кварцитов и степени минерализации воды на качество концентратов / Х.У.Ковальчук, М.В.Педан, А.Я.Гоц, Л.В.Свердлова // Обогащение руд черных металлов. М.: Недра, 1981. Вып. 10. - С.55-66.
3. Грицай Ю.Л., Педан М.В., Герасимова З.Ф., Безверхняя И.П. Исследование по закреплению дисперсных рудных минералов на поверхности кварца при измельчении железистых кварцитов // Обогащение руд черных металлов. М.: «Недра», 1980. - Вып. 9.- С.3-9.
4. Богданова И.П., Грицай Ю.Л., Удовенко Р.Г. Применение ультразвуковой обработки пульпы для интенсификации процесса магнитной сепарации окисленных кварцитов// Минчермет СССР. Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований чёрной металлургии. Экспресс-информация. Серия 2 – 1977. Вып. №4.-С.18-22.
5. Ревнивцев В.И., Дмитриев Ю.Г. Ультразвуковое обогащение минералов, покрытых поверхностными загрязняющими примесями// Применение ультразвука в машиностроении: Сб. докл. на 4-й ежегодной научно-технической конференции. М. – 1963. – С 74-82.
6. Келлер О.К., Каргыш Г.С., Лубяницкий Г.Д. Ультразвуковая очистка. – Л.: Машиностроение, 1977. – 184 с.
7. Пилов П.И. Повышение качества магнетитовых концентратов путем механической обработки // Горный журнал, 1999.– №6.– С.30-32.
8. Дмитриев Ю.Г. Изучение некоторых закономерностей процесса ультразвуковой очистки минералов: Автореферат дисс. – Свердловск, 1967.
9. Классен В.П., Недогоров В.И., Дебердеев И.Х. Шламы во флотационном процессе. – М.: «Недра», 1969.– 245 с.
10. Чантурия В.А., Назарова Г.И. Электрохимическая технология в обогатительно-гидрометаллургических процессах. – М.: Наука, 1977. - 160 с.
11. Чантурия В.А., Дмитриев Г.М., Трофимова Э.А. Интенсификация обогащения руд сложного вещественного состава. _ М.: Наука, 1988.–185с.
12. Чантурия В.А. Электрохимическая технология в процессах первичной переработки минерального сырья// Новые процессы в комбинированных схемах обогащения полезных ископаемых.– М.: Наука. Тр. ИПКОН, 1989.–С. 119-127.
13. Гзгоян Т.Н. К вопросу применения физических полей для руд Михайловского ГОКа // Развитие идей И.Н. Пласина в области обогащения полезных ископаемых и гидрометаллургии: Тезисы докл. юбил. Плак. чтений. М., 2000.
14. Гзгоян Т.Н. Опыт применения энергетических воздействий при рудоподготовке и обогащении железистых кварцитов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2002. – №2. – С.98-113.
15. Мейер К. Физико-химическая кристаллография. –М.: Недра, 1984. – 161 с.

Рукопись поступила в редакцию 06.04.2018

УДК 622.235:622.271

А.А. СКАЧКОВ, гiрн. iнж., ПАТ «Пiвнiчний ГЗК»

Д.А. ТiТОВ, студ., С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., Криворiзький нацiональний унiверситет

РОЗВИТОК МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ВИБУХУ ПАРИ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ З УРАХУВАННЯМ СУПЕРПОЗИЦІЇ ХВИЛЬ

Мета. Основною метою дослідження є моделювання взаємодії свердловинних зарядів, які підриваються попарно. При цьому проаналізовано особливості суперпозиції вибухових хвиль в залежності від послідовності відривання цих зарядів. Воно присвячене вирішенню актуальної проблеми – зниженню питомої витрати вибухових речовин для руйнування гірських порід.

Методи дослідження. Аналіз геомеханічних процесів математичним моделюванням динамічного напруження породного масиву вибухом на відкритих розробках.

Наукова новизна. Полягає в тому, що моделюванням встановлено залежність суперпозиції вибухових хвиль в кристалічному середовищі від послідовності підривання зарядів в двох прилеглих свердловинах, що дає можливість більш ефективно дробити гірську породу ними.

Практична значимість. Полягає в можливості зниження питомої витрати вибухових речовин при вибуховому руйнуванні скельних порід.

Результати. Для теорії і практики ведення вибухових робіт важливо знати особливості формування і взаємодії силових полів свердловинних зарядів ВР, які підривають із затримкою. Основну роль в процесі руйнування гірського масиву за цих умов відіграє суперпозиція пружних хвиль. Підбором мас зарядів і тривалості затримки між вибухами 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. З огляду на часові та геометричні характеристики породного масиву, можна припустити, що його напружений стан буде повністю відповідати фізичним параметрам інтегральної зони, за яких суперпозиція вибухових хвиль мінімізується. Отримані результати можуть бути використані для розробки вибухових технологій, заснованих на руйнуванні гірського масиву, приведенного попередньо в напружений стан від вибуху зарядів ВР, наприклад, малої потужності. 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, вибухові хвилі, вибухові роботи, свердловинні заряди..

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-31-36

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Уступ гірських порід найбільш нерівномірно руйнується в зоні, прилеглий до укусу [1]. Винятково складний напружено-деформований стан породного масиву в цій частині при взаємодії свердловинних зарядів, що підриваються в першому і другому рядах, є однією з головних причин неконтрольованого виходу негабаритної та перездрибненої фракції при виконанні вибухових робіт, що негативно позначається на техніко-економічних показниках всього гірничодобувного виробництва, тому пошук шляхів вирішення даного завдання є вельми актуальним [2-3], так як у свою чергу сприяє вирішенню проблеми підвищення ефективності буропідривних робіт (БВР).

Аналіз досліджень і публікацій з теорії вибухового руйнування кристалічних масивів і практики БВР показує, що одним з найменш досліджених теоретично і невіршених практично питань є нерівномірний вплив на формування вибухом навантаження крайової частини уступу, оптимізувати що є можливим при цілеспрямованому використанні ефектів розвитку динамічної зони руйнування, створюваної силовими полями взаємодіючих зарядів ВР приконтурних рядів [4-6]. У зв'язку з цим в дослідження закладалася ідея можливості цільового використання динамічних ефектів, що проявляються при взаємодії свердловинних зарядів, для вирішення чого задачі досліджень формулювалися згідно з нею, а саме: заряди першого ряду свердловин ініціюються після підривання зарядів другого, утворюючи завдяки сприятливій суперпозиції вибухових хвиль більш оптимальну динамічну зону відповідно до конкретних умов.

Постановка задачі. Викладення матеріалу дослідження. В основу математичного моделювання динаміки вибуху одиночного заряду [7-9] закладено хвильове рівняння

$$a^2 \cdot \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right) + f(x, y, z, t) = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2},$$

де $\varphi(x, y, z, t)$ – потенціал швидкості, $f(x, y, z, t)$ – потужність джерел хвиль; $\vec{v} = grad(\varphi)$ – вектор швидкості хвиль; $\partial\varphi/\partial n=0$ – гранична умова на твердій нерухомій межі

Розв'язок рівняння

$$\varphi(M, t) = \frac{1}{4\pi \cdot a^2} \iiint_{D_M^{st}} \frac{f(P, t - \frac{r}{a})}{r} d\xi d\eta d\zeta.$$

При заданому джерелі потужністю в точці $M_0(x_0, y_0, z_0)$, у вигляді $f(M, t) = Q[(\eta(t) - (\eta(t + \Delta t))\delta(M, M_0))$, де Q – параметр, пов'язаний з інтенсивністю заряду Δt – проміжок дії вибуху, $\delta(M, M_0)$ – дельта-функція, розв'язок рівняння набуває вигляду

$$\varphi(M, t) = \frac{Q}{4\pi \cdot a^2 \cdot r_{MM_0}} \left(\eta\left(t - \frac{r_{MM_0}}{a}\right) - \eta\left(t + \Delta t - \frac{r_{MM_0}}{a}\right) \right),$$

$r_{MM_0} = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}$ – відстань від точки $M(x, y, z)$ до точки $M_0(x_0, y_0, z_0)$, $\eta(t)$ – одинична функція.

Щодо виникнення хвиль розрідження від поверхонь розташування заряду, застосовується метод відображень з використанням аналітичної геометрії, який дозволяє врахувати суперпозицію вибухових хвиль відбивання відносно поверхонь розташування заряду.

У випадку точкового джерела, розташованого в точці $M_0(x_0, y_0, z_0)$, фронт вибухової хвилі являє собою сферу, яка задається рівнянням $(x-x_0)^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2=(at)^2$, a – швидкість розповсюдження хвилі, t – час.

Якщо мають місце відбивання, то фронт хвилі складається з частин сфери. Припускається, що хвиля розрідження від реального джерела є еквівалентною прямій хвилі від фіктивного джерела, розташованого симетрично відносно поверхні відбивання (рис. 1).

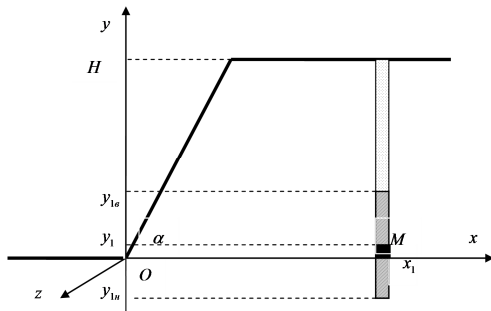


Рис. 1. Розташування ВР в уступі кар'єру з уведеною системою координат

Від заряду, розташованого в точці $M(x_1, y_1, 0)$, виділяються три фронти хвилі: прямий, який задається рівнянням $(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+z^2=(at)^2$, і два – відбиті:

$$(x-x_1)^2+(y-2H+y_1)^2+z^2=(at)^2, (x-x_1 \cos 2\alpha - y_1 \sin 2\alpha)^2 + (y-x_1 \sin 2\alpha + y_1 \cos 2\alpha)^2 + z^2=(at)^2.$$

Рівняння траєкторії точки перетину фронтів відбитих хвиль розрідження знаходяться шляхом обчислення параметрів $\Delta_x = -x_1(1 - \cos 2\alpha) + y_1 \sin 2\alpha$, $\Delta_y = x_1 \sin 2\alpha + y_1(1 - \cos 2\alpha) - 2H$.

Координати траєкторії точки перетину фронтів хвиль розрідження запишуться у вигляді

$$x(t) = x_1 - \frac{\Delta_x}{2} + \Delta_y \sqrt{\frac{a^2 t^2}{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} - \frac{1}{4}}; \quad y(t) = 2H - y_1 - \frac{1}{2} \Delta_y - \Delta_x \sqrt{\frac{a^2 t^2}{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} - \frac{1}{4}}; \quad z(t) = 0.$$

Потенціал швидкості має вигляд

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi \cdot a^2} \left(\frac{1}{\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-2H+y_1)^2 + z^2}} + \frac{1}{\sqrt{(x-x_1 \cos 2\alpha - y_1 \sin 2\alpha)^2 + (y-x_1 \sin 2\alpha + y_1 \cos 2\alpha)^2 + z^2}} \right)$$

Координати вектора швидкості точки перетину фронтів хвиль розрідження знаходяться як частинні похідні від потенціалу (рис. 2, 3)

$$v_x = \frac{Q}{8\pi \cdot a^2 (\Delta_x^2 + \Delta_y^2)} \left(\frac{-\cos \beta + \sin \beta \sqrt{4\theta^2 - 1}}{\theta^3} + \frac{\cos \beta + \sin \beta \sqrt{4\theta^2 - 1}}{(\theta^2 + 1)^{1.5}} \right),$$

$$v_y = \frac{Q}{8\pi \cdot a^2 (\Delta_x^2 + \Delta_y^2)} \left(\frac{-\sin \beta - \cos \beta \sqrt{4\theta^2 - 1}}{\theta^3} + \frac{\sin \beta - \cos \beta \sqrt{4\theta^2 - 1}}{(\theta^2 + 1)^{1.5}} \right), \quad v_z = 0.$$

де $\theta = \frac{a \cdot t}{\sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}}, \quad \beta = \arctg \left(\frac{\Delta_y}{\Delta_x} \right).$

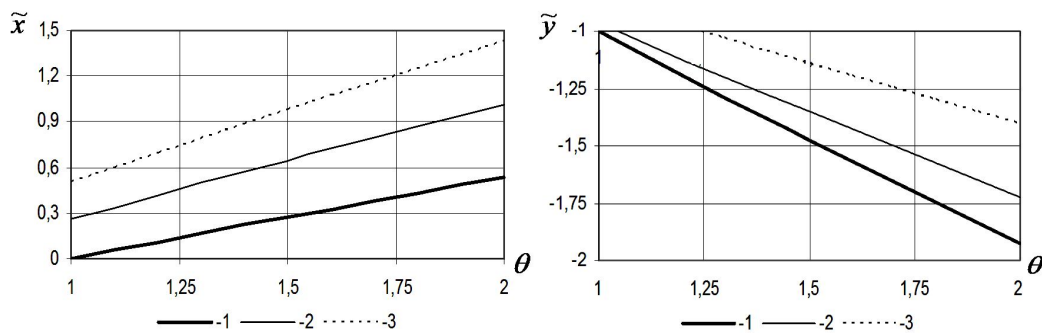


Рис. 2. Залежність координат точки перетину двох хвиль розрідження від часу ($1 - \beta=30^\circ$, $2 - \beta=45^\circ$, $3 - \beta=60^\circ$)

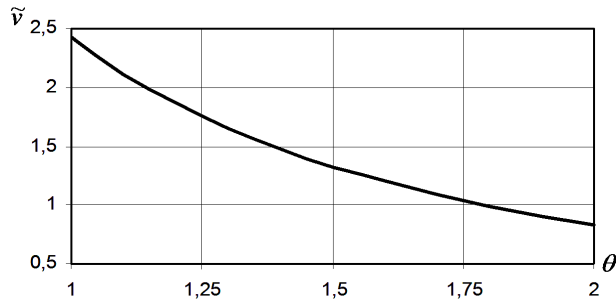


Рис. 3. Зміна швидкості точки перетину двох хвиль розрідження залежно від часу

В даному випадку введено безрозмірні позначення

$$\tilde{x} = \frac{x - x_1}{\sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}}, \quad \tilde{y} = \frac{y + y_1 - 2H}{\sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}},$$

$$\theta = \frac{t}{\Delta_t}, \quad \tilde{v} = \frac{8\pi \cdot a^2 (\Delta_x^2 + \Delta_y^2)}{Q} v$$

У випадку ж лінійного джерела вибуху задача стає більш складною, але, як показують подальші розрахунки, якісна картина суперпозиції вибухових хвиль на достатній віддалі від джерела наближається до дії точкового джерела вибуху.

Для математичного моделювання динаміки короткоуповільненого вибуху в кар'єрах користуються методом послідовного підривання ВР з деякою досить малою затримкою, що дозволяє значно підвищити якість подрібнення гірських порід. Особливістю представленої схеми підривання є те, що спочатку ініціюється вибух у першій свердловині, а потім після деякої затримки – у другій (рис. 4).

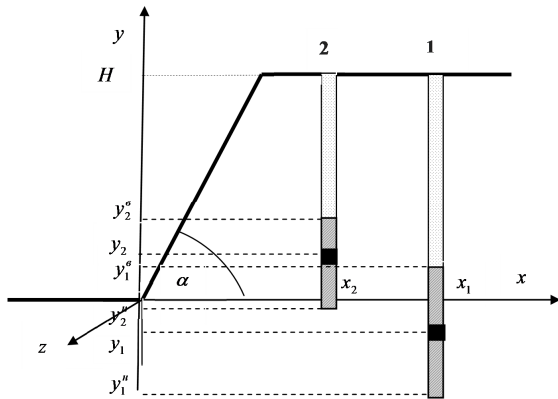


Рис. 4. Розташування ВР в уступі кар'єру з уведеною системою координат

Хвиля розрідження від першого заряду, рівнянням якої є $(x-x_1)^2 + (y+y_1-2H)^2 + z^2 = (at)^2$, накладається на пряму хвилю від підривання другого заряду, яка аналогічно задається рівнянням $(x-x_2)^2 + (y+y_2)^2 + z^2 = [a(t+\tau)]^2$, де τ – час затримки вибуху другого заряду відносно моменту вибуху першого заряду, утворюючи суперпозицію хвиль. В результаті траєкторія перетину хвиль задається у безрозмірному вигляді координатами

$$\tilde{x} = \frac{1}{2} (\Phi \cdot \cos \beta + \sin \beta \sqrt{4\theta^2 - \Phi^2}), \quad \tilde{y} = \frac{1}{2} (\Phi \cdot \sin \beta - \cos \beta \sqrt{4\theta^2 - \Phi^2}), \quad \tilde{z} = 0,$$

де $\theta = \tau/\Delta_t$, $\Phi = \theta_0(2\theta + \theta_0) - 1$.

Значення інших параметрів співпадає з тими, що були введені вище.

Потенціал, який має місце в точці суперпозиції двох хвиль від різних джерел, запишеться як сума відповідних потенціалів від цих джерел

$$\varphi = \frac{1}{4\pi \cdot a^2} \left(\frac{Q_1}{\sqrt{(x-x_1)^2 + (y+y_1-2H)^2 + z^2}} + \frac{Q_2}{\sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + z^2}} \right)$$

де Q_1, Q_2 – інтенсивності джерел вибуху від першого та другого зарядів.

Проекції швидкості точки перетину хвиль знаходяться, як частинні похідні від потенціалу. У безрозмірному поданні мають вигляд (рис. 5)

$$\tilde{v}_x = \hat{Q}_1 \frac{\cos \beta \cdot \Phi + \sin \beta \sqrt{4\theta^2 - \Phi^2}}{\theta^3} + \hat{Q}_2 \frac{\cos \beta \cdot (\Phi + 2) + \sin \beta \sqrt{4\theta^2 - \Phi^2}}{((\theta + \theta_0)^2 + 1)^{1.5}},$$

$$\tilde{v}_y = \hat{Q}_1 \frac{\sin \beta \cdot \Phi - \cos \beta \sqrt{4\theta^2 - \Phi^2}}{\theta^3} + \hat{Q}_2 \frac{\sin \beta \cdot (\Phi + 2) - \cos \beta \sqrt{4\theta^2 - \Phi^2}}{((\theta + \theta_0)^2 + 1)^{1.5}}, \quad \tilde{v}_z = 0,$$

де $\tilde{v}_x = \frac{8\pi \cdot a^2 (\Delta_x^2 + \Delta_y^2)}{Q_1 + Q_2} \cdot v_x$, $\tilde{v}_y = \frac{8\pi \cdot a^2 (\Delta_x^2 + \Delta_y^2)}{Q_1 + Q_2} \cdot v_y$, $\hat{Q}_1 = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}$, $\hat{Q}_2 = \frac{Q_2}{Q_1 + Q_2}$.

Безрозмірна швидкість точки суперпозиції хвиль знаходиться за формулою

$$\tilde{v} = -\sqrt{\frac{\hat{Q}_1^2}{\theta^4} + \hat{Q}_1 \cdot \hat{Q}_2 \frac{\theta^2 + (\theta + \theta_0)^2 - 1}{\theta^3((\theta + \theta_0)^2 + 1)^{1,5}} + \hat{Q}_2^2 \frac{(\theta + \theta_0)^2}{((\theta + \theta_0)^2 + 1)^3}}$$

де $\tilde{v} = \frac{8\pi \cdot a^2 (\Delta_x^2 + \Delta_y^2)}{Q_1 + Q_2} \cdot v$ (рис. 6).

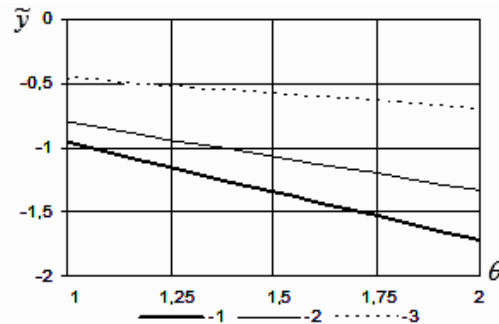
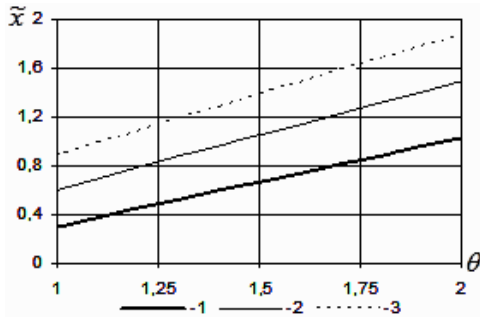


Рис. 5. Залежність координат точки перетину двох хвиль від часу ($1 - \theta_0 = 0,25$, $2 - \theta_0 = 0,5$, $3 - \theta_0 = 0,75$)

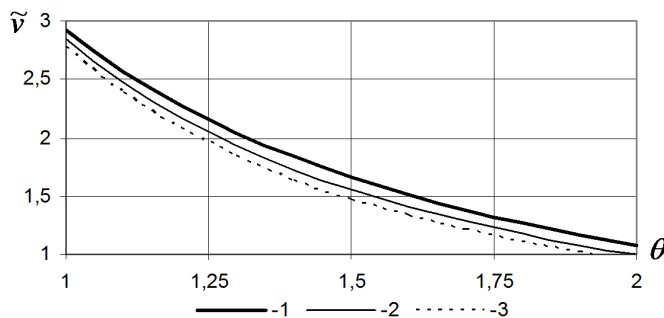


Рис. 6. Зміна безрозмірної швидкості точки перетину двох хвиль залежно від часу ($1 - \theta_0 = 0,25$, $2 - \theta_0 = 0,5$, $3 - \theta_0 = 0,75$)

У випадку врахування довжини джерел вибуху задача стає більш складною, але якісна картина суперпозиції вибухових хвиль на достатній віддалі від джерел наближається до випадку точкових джерел.

Висновки. Враховуючи часові та геометричні характеристики породного масиву, можна припустити, що його напружений стан буде повністю відповідати фізичним параметрам інтегральної зони, за яких суперпозиція вибухових хвиль мінімізується. 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.

Список літератури

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 технологи 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.

Рукопис подано до редакції 05.04.2018

М.О.РЯЗАНЦЕВ, О.К. НОСАЧ, кандидати техн. наук, доценти, А.М. РЯЗАНЦЕВ, асистент
Індустріальний інститут ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
В.В. КУЛІВАР, аспірант
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

РЕЗОНАНС В ГІРСЬКОМУ МАСИВІ ПРИ ГЕОДИНАМІЧНИХ ЯВИЩАХ

Мета. Основною метою роботи є розробка деформаційного передвісника геодинамічних явищ в гірському масиві.

Методи досліджень. В роботі наведені експериментальні дані з деформування і руйнування гірських порід в об'ємному напруженому стані на установці нерівнокомпонентного об'ємного стискання конструкції ДонФТІ НАН України з дослідження змін амплітуди приросту лінійних, об'ємних і зсувних деформацій та пружних параметрів гірських порід в процесі навантаження. Проаналізовано умови виникнення резонансних явищ при деформуванні і руйнуванні гірських порід.

Наукова новизна. Вперше показано, що пружні характеристики гірських порід не є константами матеріалу, а змінюються за величиною і за знаком в процесі механічного навантаження. В процесі деформування гірських порід спостерігається чотири характерних етапи. З точки зору руйнування найбільш цікавим є третій етап – резонансне зростання приросту максимальної, мінімальної і зсувної деформації. Коли модуль об'ємного стискання проходить через безкінечність виникає течія, а коли він дорівнює модулю зсуву, виникає ударна хвиля і динамічне руйнування гірських порід.

Практичне значення. Резонансне зростання амплітуди приросту максимальної, мінімальної і зсувної деформації є критерієм руйнування взагалі, і динамічного руйнування зокрема, що на практиці може використовуватись як передвісник або прогностичний критерій руйнування.

Результати. Показано, що гірські породи є класичними ауксетиками, в яких пружні показники в процесі механічного навантаження змінюють величину і знак. Характерні деформації, при яких пружні характеристики змінюють свою величину, є квантованими і постійними для всіх матеріалів. Найбільш інформативним показником з точки зору руйнування є амплітуда приросту деформацій в процесі навантаження. Показано, що перед руйнуванням відбувається резонансне зростання амплітуди приросту лінійних і зсувних деформацій внаслідок подвійного вихрового резонансу по швидкості, розмірах структур і частоті. Умовою резонансу є проходження модулю об'ємного стискання через безкінечність і зрівняння з модулем зсуву.

Ключові слова: геодинамічні явища, пружні характеристики, ауксетики, приріст деформації, резонанс, руйнування

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-36-42

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Історично так склалося, що проблема руйнування матеріалів під дією механічного впливу взагалі і виникнення геодинамічних явищ в гірському масиві зокрема, вирішувалась шляхом створення різноманітних теорій міцності та емпіричних, статистичних і геофізичних способів прогнозу геодинамічних явищ. Результатом такого підходу є відсутність загальноприйнятого, науково обґрунтованого і надійного способу прогнозу руйнування порід і виникнення гео- і газодинамічних явищ. Проблема їх створення залишається актуальною.

Аналіз досліджень і публікацій. Деформації в гірському масиві поширюються у вигляді об'ємної деформаційної хвилі про що свідчить їх знакоперемінний характер [1-3].

При випробуванні гірських порід на одноосне стискання і фіксації деформацій за допомогою тензодатчиків в [1] встановлено характерні етапи об'ємного деформування зразків порід. На початковому етапі одноосного стискання приріст зменшення об'єму досягає максимуму по всіх лініях фіксації деформацій, після чого він зменшується і досягає нуля (порогу дилатансії). Після цього відбувається розподіл ділянок деформування: в одному напрямку об'єм і далі зменшується, а в другому – об'єм починає збільшуватись. Циліндричний зразок в поперечному розрізі при цьому набуває форми вісімки. Слід відзначити, що кожен з етапів має однозначну інтерпретацію і фіксується досить точно, тому автори пропонують цей показник в якості передвісника руйнування.

Головним недоліком передвісників на базі об'ємної деформації є те, що приріст об'ємних деформацій неможливо поміряти, а можна тільки розрахувати. До того ж експерименти проведені тільки при одноосному стисканні у міцних породах, деформації, що фіксуються тензодатчиками, є пружними, дуже малими (0,001...0,01)%, суттєво відрізняються від фактичних дефо-

рмацій в гірських породах, які досягають 10% і більше, тому для практичного використання запропоновані передвісники руйнування не придатні.

Вказане вище свідчить про те, що проблема пошуку причин і передвісників руйнування гірських порід взагалі і у вигляді геодинамічних явищ зокрема залишається актуальною. Вирішення цієї проблеми можливе шляхом дослідження приросту не тільки об'ємної, а і всіх трьох лінійних і зсувної деформації на октаедричній площинці при нерівнокомпонентному трьохосному стисканні осадових порід карбону Донбасу. Численні експериментальні лабораторні дослідження, проведені авторами цієї роботи на установці нерівнокомпонентного об'ємного стискання конструкції ДонФТІ АН України [4] на кубічних зразках вугілля, аргіліту, алевроліту, пісковиків дозволяють ліквідувати недостачу інформації з цього приводу.

Постановка задачі. Дослідження змін приросту деформацій та пружних параметрів гірських порід з ціллю встановлення резонансних явищ при їх деформуванні і руйнуванні.

Викладення матеріалу та результати. Традиційно результати досліджень поведінки порід при нерівнокомпонентному стисканні наводять у вигляді двох діаграм: «кульовий тензор напружень – відносна об'ємна деформація», «октаедричне дотичне напруження – відносна октаедрична дотична (зсувна) деформація» (рис. 1 а і 1б).

а



б

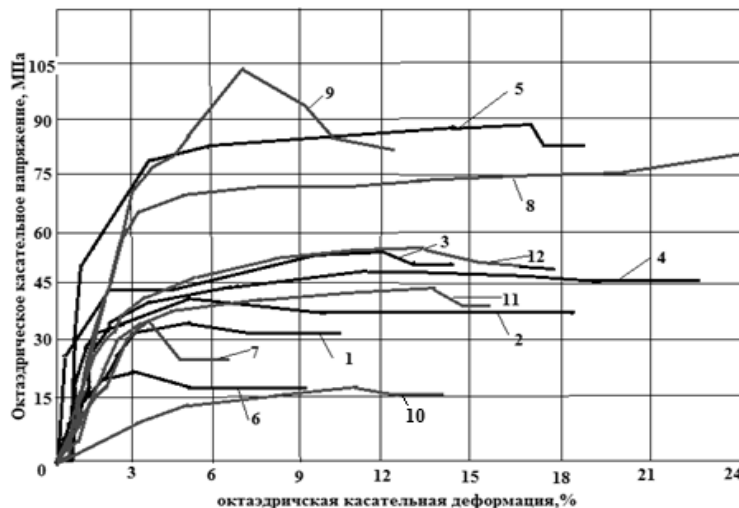


Рис. 1. Залежність «октаедричне нормальне напруження (кульовий тензор) – об'ємна деформація» (а) та «октаедричне дотичне напруження – октаедрична дотична деформація» (б) для аргіліту (1-6), пісковиків (7-9) і вугілля (10-12) при різних видах напруженого стану

Ці діаграми дозволяють визначити пружні параметри (модуль об'ємного стискання, модуль зсуву, коефіцієнт поперечної деформації), характерні деформації, при яких пружні параметри змінюються стрибком, закономірності зміни міцності і енергоємності руйнування порід від виду напруженого і деформаційного стану тощо. Але ані абсолютна величина навантаження, ані величина відносних деформацій в загальному випадку критерієм руйнування бути не можуть навіть для одного і того ж виду напруженого стану, або одного і того ж кульового тензору напружень. Межа міцності і гранична відносна деформація залежать від багатьох факторів, вплив яких навіть не завжди усвідомлюється.

Для прикладу на рис.2 наведено залежність міцності, модуля спаду, граничної і повної зсувної деформації від виду деформаційного стану.

Як показано в [5,6], характерні деформації, при яких модулі пружності змінюються стрибком для вугілля, пісковиків, алевролітів і аргілітів, металів і сплавів мають певні дискретні значення: 0,64; 1,0; 1,5; 1,8; 2,25; 2,6; 3,0; 3,7; 4,6; 5,8; 6,3; 7,0; 8,3; 9,7; 11,2; 12,7; 13,7; 14,5; 16,3%, що свідчить про структурно-фазові переходи другого роду.

Що ж стосується змін приросту деформацій в процесі деформування і руйнування, то практично для всіх порід, видів напруженого стану і величин кульового тензору напружень залеж-

ності подібні. Тому доцільно пошук передвісників руйнування здійснювати шляхом дослідження змін приросту деформацій в процесі навантаження.

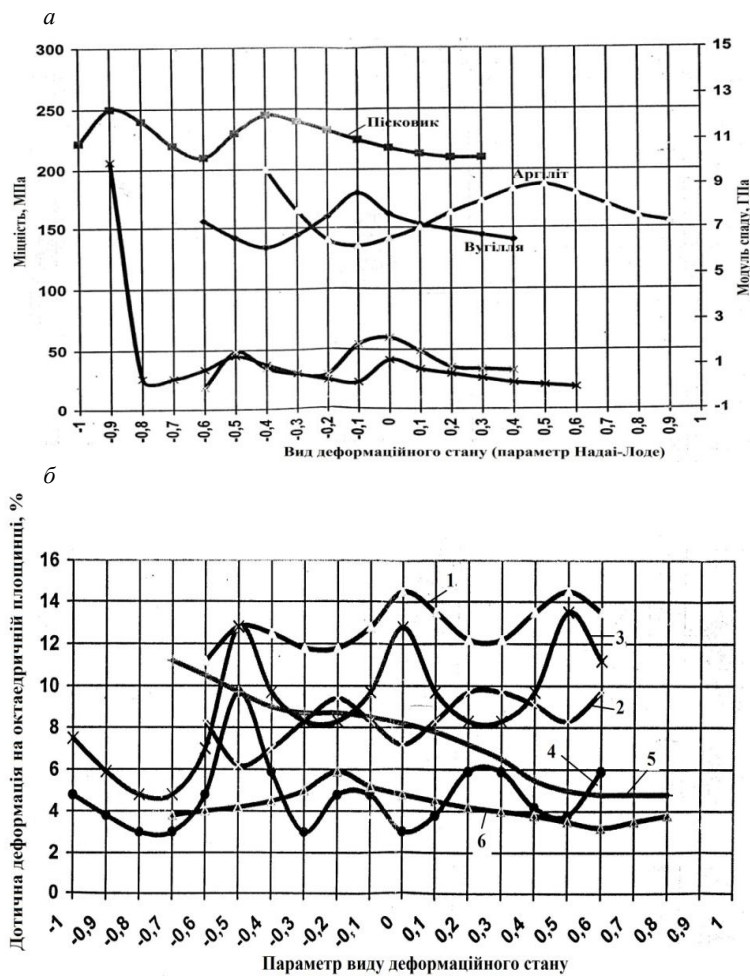


Рис. 2. Залежність міцності (а) і руйнуючої зсувної деформації вугілля і вмшуючи порід (б) від виду деформаційного стану при $\sigma_3 = 20$ МПа : 1, 2 – повна і гранична деформація вугілля; 3, 4 – повна і гранична деформація пісковика; 5, 6 – повна і гранична деформація аргіліту

На рис. 3, 4 для прикладу наведені дані зміни приросту об'ємних, зсувних і лінійних відносних деформацій в процесі навантаження зразка вугілля і пісковика при різних видах напруженого стану. Одні і ті ж дані наведені як при абсолютних, так і відносних значеннях максимального навантаження.

Аналізуючи наведені дані слід констатувати, що процес деформування гірських порід при механічному навантаженні в умовах нерівнокомпонентного триосного стискання можна розділити на чотири етапи:

а) інтенсивне зменшення об'єму на початковій стадії деформування практично без зміни форми (при навантаженнях до 0,3-0,4 від руйнуючих);

б) зменшення приросту об'ємної деформації до нуля (досягнення порогу дилатансії або точніше межі стискання), коливання приросту решти деформацій з амплітудою не більше 0,5% (при навантаженнях до 0,6-0,75 від руйнуючих);

в) різке зростання приросту зсувних, мінімальної і максимальної лінійних деформацій до кількох відсотків (при навантаженнях 0,85-0,99 від руйнуючих);

г) інверсія приросту всіх видів деформацій і динамічне руйнування породи з різким спадом навантаження (спостерігається практично перед руйнуванням при 0,99 від руйнуючого навантаження). При відсутності спаду навантаження відбувається пластичний коливальний зсувний процес (течія).

Наявність третього етапу, при якому амплітуда приросту лінійних і зсувних деформацій зростає в кілька разів (від десятих часток відсотка до кількох відсотків) свідчить про наявність резонансних явищ. З цього приводу доцільно згадати концепцію вихро-хвильового резонансу, що розвивається в роботах [7-12].

Згідно з цією концепцією при механічному навантаженні гірських порід відбувається перерозподіл енергії з реалізацією як трансляційних, так і поворотних мод. При цьому виникають як ліво-, так і правосторонні обертання, на резонансі відбувається перехід правосторонньої поляризації у лівосторонню і «викид» накопиченої в гірському масиві хвильової енергії. Ротаційний характер зсувних деформацій в гірських породах в об'ємному полі стискаючих напружень підтверджено в [9].

Виділяють наступні форми вихро-хвильових і структурних резонансів:

резонанс по швидкості і частоті – резонансне збудження системою, що коливається, лише однієї хвилі з можливого спектру хвиль в оточуючому середовищі;

резонанс по швидкості і розмірах – резонансне збудження хвиль системою, що коливається, коли характерні розміри системи або її структурного елементу близькі до розмірів коливальної системи або кратні їм;

подвійний вихро-хвильовий резонанс по швидкості, розмірах і параметрах вихрових структур;

структурний резонанс – резонансна взаємодія через середовище кількох несиметричних систем з межами розподілу або вихровими структурами.

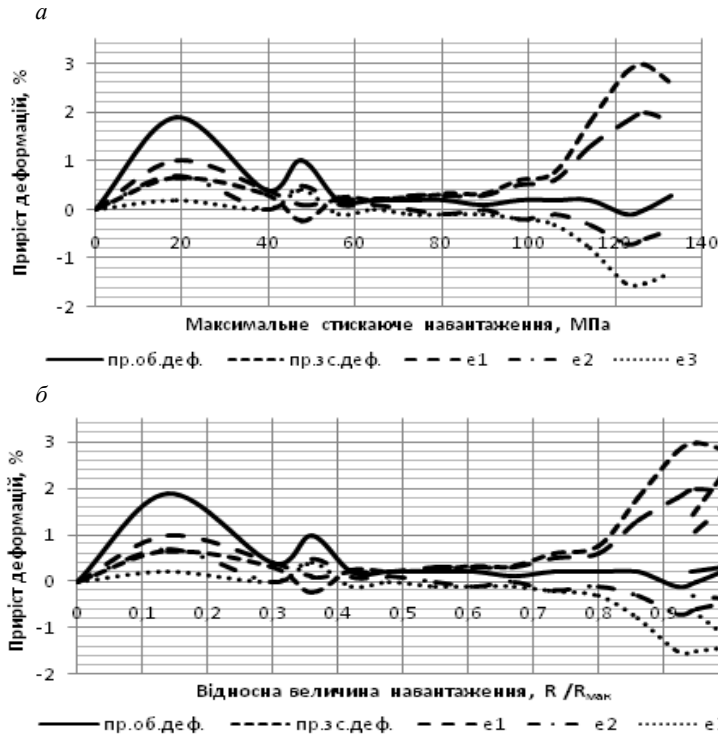


Рис. 3. Зміни приросту об'ємних, зсувних і лінійних деформацій в процесі навантаження зразка вугілля при $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 = 20 \text{ МПа}$ від абсолютної величини максимального стискаючого напруження (а) і відносної величини максимального навантаження (віднесене до руйнуючого) (б)

Критерієм для передбачення і прогнозу гео- і газодинамічних явищ є співпадіння або кратність довжин, швидкостей або частот хвиль, які взаємодіють між собою. Перша умова виконується за рахунок приблизної однаковості розмірів блоків в гірському масиві і одного модулю кратності при переході від одного масштабного рівня до іншого [13, 14]. При взаємодії будь-яких близько розташованих структур (шарів, блоків), що знаходяться в загальному

полі, через яке вони можуть впливати одне на одне, друга умова виконується автоматично.

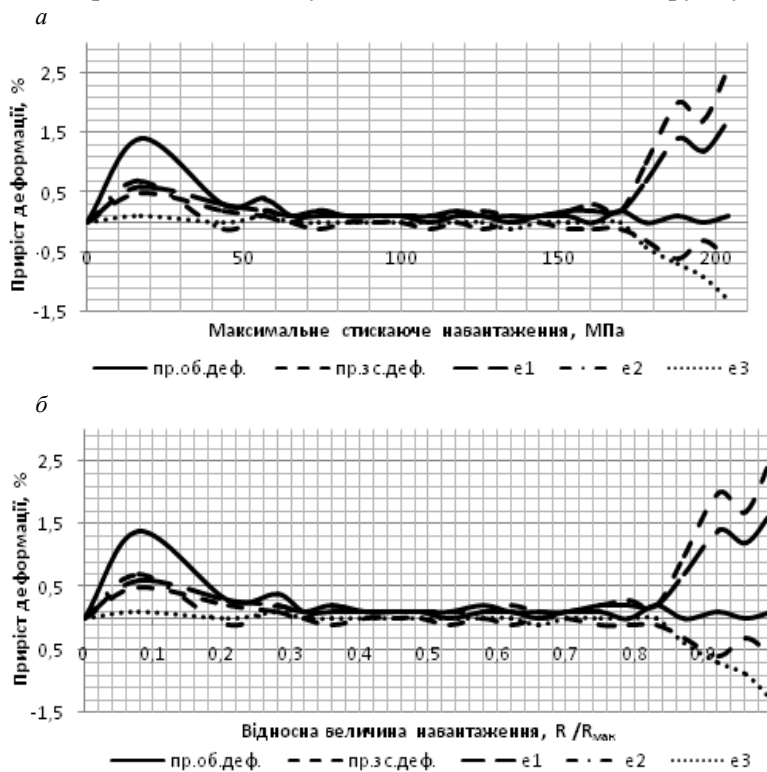


Рис. 4. Зміни приросту об'ємних, зсувних і лінійних деформацій в процесі навантаження зразка пісковика при $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, ($\sigma_2 = 23 \text{ МПа}$, $\sigma_3 = 9 \text{ МПа}$)

Згідно з [10, 11] зовнішнім навантаженням для Землі є Всесвітнє джерело хвильової енергії з періодом $T=160$ хв. Ця збуджуюча нульова частота коливань впливає на всі структурні об'єкти планети, які є резонаторами. Резонатор розглядається як вторинний випромінювач, амплітуда і фаза якого є функціями параметрів резонатору і збуджуючої частоти. Система джерело-резонатор є системою з одним ступенем свободи, яка має одну резонансну і одну антирезонансну частоту. Як показано в [12],

при нормальному падінні хвилі на межу розподілу шару-резонатору на частоті резонансу, розсіювання хвилі відсутнє і спостерігається повне пропускання хвилі. При цьому зв'язок між частотою, характерним розміром резонатору і швидкістю хвилі наступний

$$f_{\text{мк}} = \frac{V_p}{2\ell} k, \quad (1)$$

де V_p – швидкість поздовжньої складової об'ємної хвилі; ℓ – характерний розмір шару, блоку (для шару – товщина); k – порядок гармоніки.

Резонанс спостерігається в будь-яких матеріалах, на всіх гармоніках, йде на поздовжніх хвилях і є півхвильовим.

При частоті антирезонансу виникає зовсім протилежний ефект – так зване акустичне резонансне поглинання (АРП). При цьому зв'язок між частотою, характерним розміром резонатору і швидкістю хвилі наступний

$$f_{\text{а}} = \frac{V_s}{\ell} k, \quad (2)$$

де V_s – швидкість поперечної складової об'ємної хвилі.

При ефекті АРП спостерігається часткове віддзеркалення хвилі, а решта – поглинається шаром-резонатором і перетворюється на його власні коливання, які не виходять за межі шару, а поширюються вздовж його меж без затухання. Ефект АРП спостерігається тільки на непарних гармоніках, йде на поперечних хвилях і є хвильовим, а траєкторія руху часток має ротаційний (вихровий) характер.

Таким чином, хвильова взаємодія розпадається на два рухи: активний вихровий рух на частоті власних коливань структурної складової гірського масиву і реактивний пульсуючий, як реакція на зовнішню складову об'ємної хвилі, що входить з усіх боків. Під зовнішнім всестороннім пульсуючим тиском в середовищі утворюється об'ємна пластична хвиля, швидкість якої

$$V_n = \sqrt{\frac{K}{\rho}}, \quad (3)$$

де K – модуль об'ємного стискування; ρ – щільність породи.

Швидкість поперечної хвилі власних коливань складає

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad (4)$$

де G – модуль зсуву.

Для виникнення резонансу, як показано вище, ці швидкості повинні зрівнятися, а це можливо, коли модуль об'ємного стискування пройде через безкінечність і зрівняється з модулем зсуву.

Для прикладу на рис. 5, 6 показано зміну пружних параметрів вугілля і пісковику при різних напружених станах.

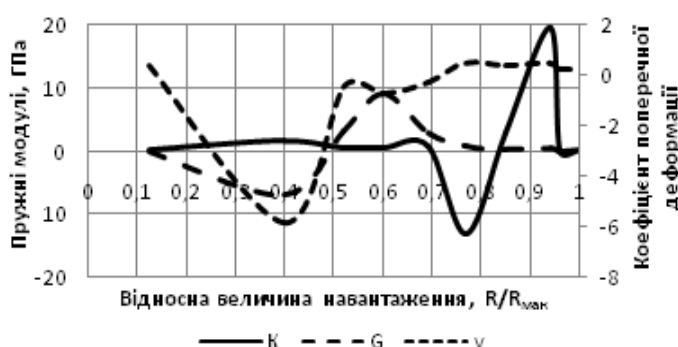


Рис. 5. Зміна пружних параметрів в процесі навантаження для вугілля при $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ($\sigma_2 = 23 \text{ МПа}$, $\sigma_3 = 9 \text{ МПа}$)

Наведені дані свідчать про те, що вугілля і пісковик є класичними ауксетиками, мають від'ємний коефіцієнт поперечної деформації, модуль зсуву до межі стискування періодично змінюється, проходячи в пісковиках через точку біфуркації ($-\infty$), а після досягнення межі стискування поступово зменшується до антирезонансної величини.

Модуль об'ємного стискування періодично змінюється до межі стискування, на межі стискування різко зростає, часто проходячи через точку біфуркації ($+\infty$), а після точки біфуркації різко зменшується, приймаючи від'ємні значення.

В процесі навантаження модулі зрівнюються кілька разів (наступає резонанс по швидкості), але до межі стискування це відбувається при протифазній зміні модулів і відбувається паралельний резонанс в режимі монохроматора (течія під дією об'ємної складової деформаційного поля). Лише після біфуркації модуля всестороннього стискування обидва модуля зрівнюються при синфазному зменшенні і наступає антирезонанс в режимі АРП з різким зростанням амплітуди деформації (на величину добротності, яка в породах досягає 100). Модуль зсуву стає бі-

льшим модуля об'ємного стискання (швидкість переміщення часток речовини перевищує швидкість звуку) і виникає ударна хвиля і динамічне руйнування.

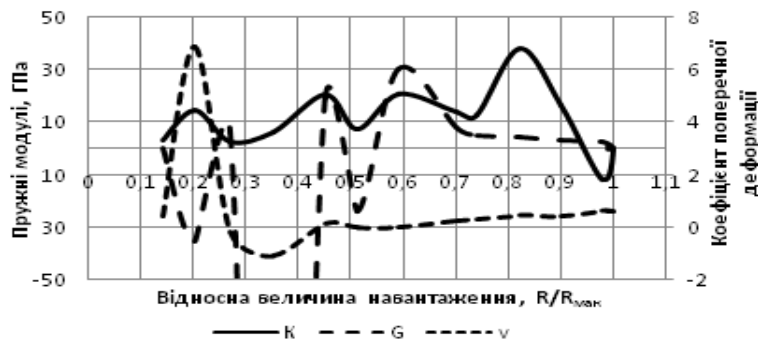


Рис. 6. Зміна пружних параметрів в процесі навантаження для пісковику при $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ($\sigma_1 = 35 \text{ МПа}$; $\sigma_2 = 20 \text{ МПа}$)

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином, головною причиною руйнування гірських порід є резонансні явища по швидкості, розмірах і частоті. В режимі монохроматору руйнування

йде у вигляді течії, в режимі АРП – в режимі динамічного руйнування.

В якості передвісника гео- і газодинамічних явищ пропонується третій етап процесу деформування гірських порід – різке резонансне зростання амплітуди приросту мінімальної (висування вибою) і максимальної (опускання покрівлі) деформацій, які можна зафіксувати лазерним дальноміром або сканером з точністю $\pm 3 \text{ мм}$.

Список літератури

1. Куксенко В.С., Гузев М.А., Макаров В.В., Рассказов И.Ю. Концепция сильного сжатия горных пород и массивов. Вестник Дальневосточного государственного технического университета. - 2011. - №3/4 (8/9). - С.14-58.
2. Адушкин В.В., Опарин В.Н. От явления знакопеременной реакции горных пород на динамические воздействия – к волнам маятникового типа в напряженных геосредах. Ч. III. ФТПРПИ. - 2014. - №4. - С.10-38.
3. Викулин А.В. Новый тип упругих ротационных волн в геосреде и вихревая геодинамика. Геодинамика и тектонофизика. Т.1. 2010. №2. С.119-141.
4. Алексеев А.Д. 394692 СССР, МКИ G 01n3/08. Установка для испытания призматических образцов на трехосное сжатие. А.Д. Алексеев, Е.И. Осыка, А.Л. Годосейчук. Открытия. Изобретения, 1973. - №34. - С.139.
5. Рязанцев А.Н. Структурно-фазовые переходы в горных породах и соответствие относительных деформаций на микро- и макроуровнях. Физикотехнические проблемы горного производства. Донецк: ИФГП НАН Украины, Вып.15. 2012. - С.42- 54.
6. Белл Дж. Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел [Текст] /Дж. Ф. Белл/В 2-х частях. Часть II. Конечные деформации: Пер.с англ. под ред. А.П. Филина.М.: Наука. Гл.ред.физ.-мат.лит.-ры. - 1984. - 432 с.
7. Панин В.Е., Егорушкин В. Е., Панин А.В., Моисеенко Д.Д. Природа локализации пластической деформации твердых тел. ЖТФ. Т.77.вып.8. 2007. - С.62-69.
8. Басин М.А. Волны. Кванты. События. Волновая теория взаимодействия структур и систем. Ч.1. .СПб.: Норма. 2000. – 168 с.
9. Рязанцев А.Н., Стариков Г.П. Ротационные деформации в горных породах. Физико-технические проблемы горного производства. - Вып.16. - 2013. - С.119-125.
10. Кумченко Я. А. Альтернативная резонаторная теория силовых взаимодействий в макромире: устойчивость Вселенной и ее энергетика на примере Солнечной системы. Зб. робіт конференції «Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики». Кривий Ріг. - 2002. Т.2. -С.103-108.
11. Кумченко Я. А. Технология и обоснование необходимости мониторинга космической погоды для прогнозирования локальных земных катастроф. Авиационно-космическая техника и технология. №4 (61).2009. С.95-103.
12. Гликман А. Г. Эффект акустического резонансного поглощения (АРП) как основа новой парадигмы теории поля упругих колебаний. Геофизика XXI столетия: 2003-2004 годы. Сб. трудов Пярых и Шестых геофизических чтений. В.В. Федынского. М., Тверь: ООО «Издательство ГЕРС». - 2005. - С. 293-299.
13. Опарин В.Н., Танайло А.С. Представление размеров естественных отдельностей горных пород в канонической шкале. Классификация. ФТПРПИ. - 2009. - №6. - С.40-53.
14. Макаров П.В. Об иерархической природе деформации и разрушении твердых тел. Физическая мезомеханика. - 2004. Т.7. - №4. - С.25-34.
15. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003.- 270 с.

Рукопис подано до редакції 06.04.2018

С. В. ТИЩЕНКО, д-р техн. наук, проф, Криворожский национальный университет
Г. И. ЕРЕМЕНКО, канд. техн. наук, Академия горных наук Украины
Д. Ю. МАЛЫХ, директор по производству и планированию ЧАО «ИнГОК»

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ ТВЕРДОЙ СРЕДЫ И МЕХАНИКИ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ

Цель. Исследовать равнодействующие силы, действующие на противоположные грани рассматриваемого элементарного параллелепипеда; получить уравнения, образующие систему четырех дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка, определяющих четыре неизвестных функции.

Методы исследований. Метод математического моделирования взрывных процессов достаточно апробирован. Схемы построения математических моделей взрывного разрушения твердой среды основаны на качественном анализе рассматриваемого явления. Причем при необходимости сложные процессы расчленяются на отдельные предельно простые блоки, учитывающие только самые основные черты явления. После строгой формулировки сделаны предположения отдельные блоки сводятся в одно решение поставленной задачи в целом, не вызывающей затруднений с чисто математической стороны.

Научная новизна. В данной задаче исследование действия взрыва заряда ВВ в твердой сплошной среде базируется на изучении поля скоростей, которое возникает в ней после взрыва. При этом учитывается, что в разных местах среды действие взрыва будет различным, и для верного представления процесса определяется величина скорости в любой момент времени.

Практическое значение. Анализируя математические модели взрывного нагружения твердой среды, необходимо отметить условность их построения. В действительности не существует четких границ между зонами или этапами, на которых построено рассмотрение процесса. При этом до сих пор не существует общепринятой единой точки зрения на механизм взрывного разрушения. Тем не менее, рассмотренные математические модели, в силу своей физической ясности и простоты могут быть использованы для качественного анализа процессов, происходящих при взрывном разрушении горных пород.

Результаты. Большой практический интерес представляет задача о границе области с определенной интенсивностью дробления. Решение этой задачи вызывает определенные трудности, так как одним из основных факторов дробления является структура горного массива, характеризующаяся очень большим количеством параметров, поэтому методы механики сплошной среды не могут дать точного решения.

Ключевые слова: математическая модель, поле скоростей, действие взрыва, интенсивность дробления.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-42-47

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Большой практический интерес представляет задача о границе области с определенной интенсивностью дробления. Решение этой задачи вызывает определенные трудности, так как одним из основных факторов дробления является структура горного массива, характеризующаяся очень большим количеством параметров, поэтому методы механики сплошной среды не могут дать точного решения.

Исследование действия взрыва заряда ВВ в твердой сплошной среде базируется на изучении поля скоростей, которое возникает в ней после взрыва. При этом учитывается, что в разных местах среды действие взрыва будет различным, и для верного представления процесса определяется величина скорости в любой момент времени.

Анализ исследований и публикаций. Метод математического моделирования взрывных процессов достаточно апробирован [1-5]. Схемы построения математических моделей взрывного разрушения твердой среды основаны на качественном анализе рассматриваемого явления. Причем при необходимости сложные процессы расчленяются на отдельные предельно простые блоки, учитывающие только самые основные черты явления. После строгой формулировки сделаны предположения отдельные блоки сводятся в одно решение поставленной задачи в целом, не вызывающей затруднений с чисто математической стороны.

О.Е. Власов, исследуя действие взрыва заряда ВВ, окруженного со всех сторон сплошной средой, сделал допущение о несжимаемости твердой среды и о мгновенности действия взрыва [1]. При сделанных предположениях была поставлена задача определения уравнения движения среды. Вокруг произвольной точки пространства был рассмотрен элементарный прямоугольный параллелепипед, ребра которого параллельны осям координат и равны соответственно dx , dy , dz .

Рассмотрев поток среды, проходящий через каждую грань параллелепипеда, была получена общая масса, вышедшая из данной области

$$\left(\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \right) dz dy dx. \quad (1)$$

где u, v, w - проекции вектора скорости произвольной точки среды.

Согласно закону сохранения материи и изменению плотности ρ , масса в параллелепипеде также изменится, за единицу времени она составит

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} dz dy dx. \quad (2)$$

Исходя из того, что общее количество массы не изменяется, сумма величин (1.1) и (1.2) должна быть равна нулю

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0. \quad (3)$$

Поскольку рассматривается несжимаемая среда, т.е. $\rho = \text{const}$; $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$, то уравнение (3) примет вид

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (4)$$

Случай несжимаемой среды важен с теоретической точки зрения, так как при этом условии все уравнения упрощаются, и их решение может быть доведено до конца. Необходимо также отметить, что уравнение (3) связывает величину и направление вектора скорости в любом месте поля скоростей с соответствующим изменением плотности среды и является основным во всех расчетах по движению сплошной среды.

Постановка задания. При рассмотрении равнодействующих сил, действующих на противоположные грани рассматриваемого элементарного параллелепипеда, были получены три уравнения, образующие вместе с уравнением (4) систему четырех дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка, определяющих четыре неизвестных функции ρ, u, v, w

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x}, \quad \frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y}, \quad \frac{\partial w}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z}, \quad (5)$$

где p – давление, действующее на произвольную точку среды при взрывном воздействии.

При введении функции φ , называемой потенциалом скорости, определяемой как

$$\varphi = s/\rho,$$

где s - величина удельного импульса,

и при интегрировании по времени t уравнения (5) было получено уравнение (6)

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0. \quad (6)$$

Изложение материала и результаты. Для уяснения физической стороны процесса взрывного нагружения твердой среды рассматриваемая задача сводится к решению одного дифференциального уравнения (6).

Зная потенциал скорости, можно вычислить кинетическую энергию, сообщаемую твердой среде взрывом заряда. Если обозначить элемент поверхности заряда dF , а через v значение нормальной составляющей скорости, то эмпирическая работа dQ будет равна

$$dQ = \frac{\rho v^2}{2} dF.$$

Находя скорость v как производную от φ по нормали \bar{n} к поверхности F и учитывая, что $s = \rho \varphi$, окончательно имеем

$$dQ = \frac{\rho \varphi}{2} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial n} dF.$$

Выполнив интегрирование по всей поверхности заряда F получаем полную энергию, аккумулированную средой

$$Q = \frac{\rho}{2} \int_F \varphi \frac{\partial u}{\partial n} dF.$$

С учетом того, что в несжимаемой среде потерь энергии нет, последняя формула дает точное значение кинетической энергии взрыва, полученной средой.

В данной задаче исследование действия взрыва заряда ВВ в твердой сплошной среде базируется на изучении поля скоростей, которое возникает в ней после взрыва. При этом учитывается, что в разных местах среды действие взрыва будет различным, и для верного представления процесса определяется величина скорости в любой момент времени.

Большой практический интерес представляет задача о границе области с определенной интенсивностью дробления. Решение этой задачи вызывает определенные трудности, так как одним из основных факторов дробления является структура горного массива, характеризующаяся очень большим количеством параметров, поэтому методы механики сплошной среды не могут дать точного решения.

Приближенные оценки границ зон действия взрыва при условии квазистатического расширения цилиндрической взрывной полости для случая двухмерной задачи изложены в работе [6]. Размеры зоны интенсивного дробления определены как

$$R_{\max} = a_0 \left(\left(\left(p_0 \left(-\frac{k}{f} \right) + \left(\sigma_c + \frac{k}{f} \right) \right) \right)^{-1} \cdot \left(\frac{\mu}{\sigma_c (1 + \ln \sigma_c - \ln \sigma_p)} \right)^{-\frac{f}{1+f}} \right)^{\frac{1}{2\gamma}} \times \left(\frac{\mu}{\sigma_c (1 + \ln \sigma_c + \ln \sigma_p)} \right)^{\frac{1}{2}} r_{\max},$$

где R_{\max} - максимальный радиус зоны интенсивного дробления; a_0 - начальный радиус цилиндрической полости; p_0 - начальное давление в полости; k - сцепление; f - коэффициент внутреннего трения; σ_c - предел прочности пород на сжатие; μ - коэффициент Лямэ; σ_p - предел прочности пород на растяжение; γ - показатель адиабаты; r_{\max} - максимальный радиус зоны радиальных трещин.

Давление p_0 определяется по формуле

$$p_0 = \frac{1}{8} \rho_{\text{ВВ}} D^2,$$

где $\rho_{\text{ВВ}}$ - плотность ВВ; D - скорость детонации ВВ.

Формула для определения радиуса зоны радиальных трещин имеет вид

$$r = a_0 \left(\frac{p_0}{p_{\max}} \right)^{1/6} \left(\frac{E}{6\sigma_{\text{сж}}(1-\nu)} \right)^{1/3} \left(\frac{\nu\sigma_{\text{сж}}}{(1-\nu)\sigma_\gamma} \right)^{1/2},$$

где E - модуль упругости; $\sigma_{\text{сж}}$ - допустимое напряжение при одноосном сжатии; ν - коэффициент Пуассона; p_{\max} - максимальное давление во взрывной камере.

Для многорядного взрывания зависимость между радиусом дробления и гранулометрическим составом взорванной горной массы предполагается определять по формуле

$$\eta_i - \eta_{oi} = \frac{\pi \cdot N \cdot (1 - \eta_{oi})}{3aH((N-1)\varrho + W)} \times \left((L-l)(1 + \alpha + \alpha^2) + \frac{r}{4}(1 + \alpha + \alpha^2 + \alpha^3) \right),$$

где η_i - суммарное содержание фракций a_i ; η_{oi} - суммарное содержание фракций a_i в неразрушенном массиве; N - число рядов скважин; r - радиус зоны дробления; ϱ - расстояние между рядами скважин; H - высота уступа горных пород; W - сопротивление по подошве уступа; L - длина заряда ВВ; l - величина перебура.

Величина α - есть отношение размера зоны, в которой величина кусков не превышает a_i и радиуса дробления. Для трещиноватых горных пород величина α принимается равной ≈ 1 . При этом условии из последнего уравнения можно определить радиус дробления как решение кубического уравнения

$$r^3 + cr^2 + d = 0, \quad h \rightarrow \eta,$$

где $c = 3(L-l)$; $d = 3 \frac{aH(\eta_i - \eta_{oi})(N-1)\epsilon + W}{\pi N(\eta_{oi} - 1)}$.

По мнению авторов, поскольку радиус дробления однозначно определяется свойствами разрушаемой среды и типом ВВ, он будет постоянен при сохранении неизменными данных факторов, и может быть использован для прогнозирования гранулометрического состава и регулирования качества дробления горных пород.

Подземный взрыв в горной породе был рассчитан Л.П. Орленко [1] в первом приближении на основе схемы подземного взрыва, предложенной М.А. Садовским [2]. Весь рассматриваемый процесс разбивается на четыре стадии.

При взрыве заряда ВВ в среде, прилегающей к заряду, распространяется сильная ударная волна. В области вокруг взрывной полости движение среды рассматривается как движение жидкости, подчиняющейся основным уравнениям гидродинамики. На первом этапе движения происходит переход части потенциальной энергии продуктов детонации в кинетическую энергию среды. Эта энергия в любой момент времени t (время первого этапа) определяется как

$$E_{\kappa} = \int_{a_1}^{R_1} 4\pi\rho_1 r^2 \frac{u^2}{2} dr \approx 2\pi\rho_0 a_1'^2 a_1^3,$$

где a_1 , R_1 , ρ_1 - величина радиуса взрывной полости, радиус фронта ударной волны и плотность среды соответственно для первого этапа.

Величина радиуса a_1 может быть определена как

$$a_1 = (p_n / p_1)^{1/3\kappa} \cdot a_0^{-1/2},$$

где a_0 - начальный радиус полости.

Из предположения, что вся работа продуктов детонации во время t_1 идет на приращение кинетической энергии разрушаемой среды, получено равенство

$$E_{\kappa} = E_2 (1 - E_1/E_2),$$

где E_1 - энергия продуктов детонации в момент времени t_1 , E_2 - энергия взрыва.

С учетом того, что в момент времени t_1

$$E_1 = 4\pi a_1^3 p_1 \cdot (3(\kappa - 1))^{-1},$$

а начальная энергия E_1 , при $t=0$ равна

$$E_1 = 4\pi a_0^3 p_n \cdot (3(\kappa - 1))^{-1}.$$

Можно получить скорость движения границы ПД-среда на первом этапе

$$a_1'(t) = \left(\frac{E_2}{2\pi\rho_0 \cdot a_1^3} \cdot \left(1 - \left(\frac{a_1}{a_0} \right)^{3(1-\kappa)} \right) \right)^{1/2}. \quad (7)$$

Интегральное решение уравнения (7) дает закон изменения радиуса взрывной полости от времени t_1 .

На втором этапе горная порода считается твердой средой и принимается, что фронт разрушения совпадает с ударным фронтом. Движение среды описывается уравнением

$$\rho_0(u_t' + uu_r') = \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + 2(\sigma_r - \sigma_{\theta})r^{-1}. \quad (8)$$

Во фронте ударной волны выполняются следующие условия

$$u_{y\partial} = \epsilon R'(t), \quad \sigma_{r,y\partial} = -\rho_0 \epsilon R'^2(t),$$

где $\epsilon = (\rho_1 - \rho_0) \cdot \rho_1^{-1}$.

Равновесное давление продуктов детонации во взрывной полости определяется уравнением

$$p = p_n (a_0/a)^{3\kappa}.$$

Уравнение движения границы взрывной полости на рассматриваемом этапе имеет вид

$$a_2'(t) = \left(\frac{c}{a^{\alpha_1}} + \frac{\beta_1 p(a)}{\rho_0(\alpha_1 - 3\kappa)} \right)^{1/2},$$

где c - const, $\beta_1 = 2(2 - n) \left(\varepsilon^{\frac{n-2}{n+2} - 1} \right)$, $p(a) = p_n (a_0 / a)^{3\kappa}$, α_1 - функция величины сжимаемости среды ε .

Второй период продолжается до того момента t_2 , когда фронт ударной волны отделяется от фронта разрушения и его скорость равна скорости упругой волны.

Предельное значение скорости a_2^1 в момент времени t_2 определяется из условия, что σ_r равно критическому значению прочности среды на раздавливание σ_c

$$\sigma_r = -\sigma_c. \quad (9)$$

Третий этап начинается с момента, когда скорость фронта разрушения становится меньше скорости фронта ударной волны. А этом временном промежутке не берется в расчет перераспределение энергии за счет волновых процессов. Радиус взорванной полости расширяется до максимального a_m .

Уравнением движения разрушенной среды для третьего этапа является уравнение (8). Также имеет место условие (9). В условиях безволновой динамики процесса выполняется геометрическое подобие при расширении полости и зоны дробления, т.е.

$$v/a = (E(\sigma_c(n+1))^{-1})^{1/n+1} = \eta,$$

где $v = \eta a$ - радиус зоны дробления; E - модуль Юнга, η - константа для данной среды, зависящая от E ; n - коэффициент, зависящий от изменения объема гранулированной среды при сдвиге (дилатансия).

Уравнение для границы взрывной полости имеет вид

$$a'^2(t) = \frac{c_1}{a^{\alpha_2}} + \frac{\beta \cdot P_n}{(\alpha_2 + 3\kappa)\rho_0} \times \left(\frac{a_0}{a} \right)^{3\kappa} - \frac{\beta_2}{\alpha_2 \rho_0} \times \eta \sigma_0,$$

где c_1 - постоянная интегрирования.

Полость в среде достигает максимального радиуса, когда скорость полости $a'(t) = 0$ ($n = 2$),

$$a_m = a_2 \left(1 + \frac{\alpha_2 \rho_0 a_2'^2}{\beta_2 \cdot \eta \sigma_0} - \frac{\alpha_2 P_n}{(\alpha_2 - 3\kappa) \cdot \eta \sigma_0} \left(\frac{a_0}{a} \right) \times \left(1 - \left(\frac{a_2}{a_m} \right)^{3\kappa - \alpha_2} \right) \right)^{1/\alpha_2},$$

где $\alpha_2 = 4 - \frac{4}{3 \ln \eta} + \frac{4}{3 \eta^3 \cdot \ln \eta}$, $\beta_2 = \frac{3}{\ln \eta}$.

Максимальный радиус зоны дробления

$$v_m = \eta \cdot a_m.$$

Время расширения полости и зоны дробления T на порядок больше, чем время t_2 , определяемое как суммарный интервал времени первого и второго этапов.

Последний этап характеризуется распространением волновых процессов. Ударная волна быстро обгоняет расширяющиеся стенки взрывной полости и фронт разрушения. Характеристики распространяющейся в среде волны зависят от размеров источника. Принимается, что эффективный радиус волны равен максимальному радиусу зоны дробления v_m , смещение на поверхности источника $v(t)$ нарастает во времени до определенного максимального значения $v_m(t)$

$$v_m(t) = (\sigma_c / E) v_m$$

если

$$v_m(t) = (\sigma_c / E) \eta \cdot a_m.$$

Время движения волны от центра взрыва на больших расстояниях равно

$$r = 1,2 \frac{b m}{c_y},$$

максимальная массовая скорость u_m при $r = v_m$ равна

$$u_m = 2 v_m \cdot r^{-1}.$$

Исследованы четыре этапа движения хрупко разрушаемой среды, которая по своим свойствам близка к раздробленной горной породе.

Выводы и направление дальнейших исследований. Анализируя математические модели взрывного нагружения твердой среды, необходимо отметить условность их построения [7-10]. В действительности не существует четких границ между зонами или этапами, на которых построено рассмотрение процесса. При этом до сих пор не существует общепринятой единой точки зрения на механизм взрывного разрушения. Тем не менее, рассмотренные математические модели, в силу своей физической ясности и простоты могут быть использованы для качественного анализа процессов, происходящих при взрывном разрушении горных пород.

Список литературы

1. Власов О.Е., Смирнов С.А. Основы расчета дробления горных пород под действием взрыва / О.Е.Власов, С.А. Смирнов // М.: Изд-во АН СССР, 1962. - 107 с.
2. Механический эффект подземного взрыва / Родионов.В.Н., Адушкин В.В. и др. / Под. ред. М.А.Садовского. - М.: Недра, 1971. - 220 с.
3. Физика взрыва / Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др./ Под. ред. К.П.Станюковича. - М.: Наука, 1975. - 407 с.
4. Адушкин В.В., Сухотин Л.П. О разрушении твердой среды взрывом / В.В.Адушкин, Л.П. Сухотин // ПМТФ, 1961. - № 4. - 94-101.
5. Седвик П., Кокс А., Гопкинс Г. Механика глубоких подземных взрывов / П.Седвик, А.Кокс, Г. Гопкинс // М.: Мир, 1966. - 188 с.
6. Управление действием взрыва скважинных зарядов на карьерах / М.Ф. Друкованный, В.С. Куц, Ильин В.Н. // М.: Недра, 1980. - 223 с.
7. Жуков С.А., Тищенко С.В. Физические процессы взрывных геотехнологий / С.А. Жуков, С.В. Тищенко // Кривой Рог: Минерал, 2007. - 212 с.
8. Тищенко С.В., Еременко Г.И., Малых Д.Ю. Временные параметры взаимодействия скважинных зарядов и энергетические характеристики процесса взрывного разрушения / С.В.Тищенко, Г.И. Еременко, Д.Ю. Малых. // Гірничий вісник, 2015. Кривий Ріг. - КНУ. - Вип. 100. - С. 22-27.
9. Тищенко С.В., Еременко Г.И., Малых Д.Ю. Формирование полей напряжений при взрыве скважинных зарядов ВВ в разрушаемом объеме горных пород / С.В.Тищенко, Г.И. Еременко, Д.Ю. Малых. // Вісник Криворізького національного університету, 2016. - Вип. 43. - С. 153-158.
10. Тищенко С.В., Еременко Г.И., Малых Д.Ю. Эффективность использования энергии взрыва при взрывании скважинного заряда взрывчатыми веществами / С.В.Тищенко, Г.И. Еременко, Д.Ю. Малых. // Гірничий вісник, 2014. - Кривий Ріг. - КНУ. - Вип. 97. - С. 19-21.

Рукопись поступила в редакцию 09.04.2018

UDC 004.056.52:334.78

N. O. KARABUT, Senior Lecturer, D. V. SHVETS, Teaching Assistant,
S. O. LUKASH, Undergraduate Student
Kryvyi Rih national university

SAFE CORPORATE NETWORK ACCESS

Purpose. To analyze existing techniques and means of improved security corporate network data and to identify weak links of hardware and software which can threaten the data security and network functionality. The data security in corporate networks is an urgent issue due to the rapid increase in the number of incidents of information technology. Many of them were confronted with a wide range of private, corporate and governmental interests.

Methodology. Existing methods for organizing a corporate network, as well as methods for improving security data transmission and storage are as follows: access control to network resources, network connection, (DMZ) demilitarized zone, network segmentation, service division into Front- and Back- ends. Comparative analysis of the corporate networks in view of design characteristics, their pros and cons is provided.

Scientific novelty. The methods of data protection in corporate networks that exist today, and further develop of new methods to improve the security of corporate systems, which reduce the vulnerability of corporate networks and increase the confidentiality of data transmitted, are analyzed.

Practical value. Main incidents and a number of possible solutions to the problem of data security in corporate networks and means of preventing attacks of cybercriminals on information systems, which increase the security of corporate networks are considered.

Results. Considered software and hardware means to ensure an appropriate security of corporate networks are of a great significance in the use today. The following analysis allows us to further synthesize new methods of protecting corporate networks.

Keywords: corporate networks, information security, data protection.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-47-50

The issue and its connection with scientific and practical tasks. Nowadays a rapid increase in the number of incidents in a field of information security takes place, which have a wide dissemination and are of an increasing threat.

Many of those attacks interfere with a wide range of private, corporate and governmental interests.

The main trends in the growth of those threats include:

the increase of number of attacks that lead to heavy losses;

the increase in a complexity, which involves several stages and uses special methods of protection to deny counter-actions;

the impact on almost all electrical appliances, including portable devices, which are of an increasing importance and vulnerability in the field of information security;

the more frequent cases of attacks targeting the information infrastructure of large corporations, important industrial facilities and governmental structures;

All of the above demonstrates the importance of safe storage and transfer of information within corporate networks. The presence of software and hardware vulnerabilities in such networks is a significant threat and can lead to unauthorized access to information and/or its falsification and, as result, to financial and reputational losses of the company.

Modern corporate networks provide the functionality of different kind of services. Among which are: traditional data transmission, mail and terminal service, network printers, video surveillance. Usage of corporate networks within the organization provides an efficient work of users and a convenient access to them, shorten working hours and increase overall efficiency of company management.

However, it is important to consider that usage of global connectivity in corporate networks implies a high importance of information security implementation. It is connected to a disspread and constantly circulating nature of information inside corporate networks which leads to a necessity to avoid possible unauthorized access through vulnerabilities of such network.

Analysis of research and publications. In corresponding literature and web-resources various methods to organize corporate network are considered. As well as techniques targeted at the increase of a security level within corporate information transmission channels. However, in most cases, described methods are not complete and don't provide enough universality. As a result, causing an urgent need in detailed classification of existing methods and tools, used to organize an information space of corporations and configure services of corporate networks.

Problem statement. To classify options of organizing a secure access to services of corporate network through the Internet, considering possible differences in the architecture of systems and variations in attacks' targets and methods.

Material presentation and results. To organize a secure access to services of a corporate network through the Internet a number of ways to configure it are advised. One of them is A flat network, when all nodes of a corporate network are linked to one internal network, shared by all clients with unlimited and uncontrolled internal interconnections. However, this method doesn't provide a required level of security. To address this issue, nodes of the network, that can be accessed from the Internet are placed in a special dedicated segment – a demilitarized zone (DMZ). Demilitarized zone is organized with a help of firewalls, which separate it from the Internet and from the rest of the internal network. Firewall filtration rules are as follows: it's possible to initialize a connection from internal network to a DMZ and to a WAN (Wide Area Network), from DMZ to WAN, from WAN to DMZ. Initialization of connections from WAN and DMZ to the internal network is prohibited.

This variant increases the protection from hacking individual services. In case of one server being hacked, an intruder will have no access to the rest of the network. However, moving servers to DMZ on its own does not increase their security. Furthermore, the implementation of such a method require an additional firewall to separate the DMZ from the internal network.

Another way to organize a network is service separation to Front-End and Back- End. As soon as placing a server in DMZ does not improve its security, one of the possible ways to improve it is to

split the functional of a server into two parts: Front- End and Back- End. Each part is placed on a separate server, servers are interconnected. Front-end servers, which implement the functional of client interaction through the Internet, are placed within the DMZ. Back- End servers, in turn, implement another type of functional and are left within the internal network. To guarantee Front-to-Back connectivity a set of rules is implemented.

At most times during an implementation phase companies choose the simplest way of service deployment and set up all its components on a single server. Then, as awareness of the need in information security grows, the functional of a services is divided into parts. The one responsible for client handling through the Internet is placed on a separate server (Front-End), which interacts with the rest of a functional (Back-End). In this setup Front-End part is placed in a DMZ, while Back-End continues to be a part of an internal segment of the network. For their intercommunication several rules are applied, which allow connection initialization between Front and Back ends.

Therefore, attacks, targeting the server, which have been organized and protected in such a way, can be eliminated at Front-End stage, which allows to minimize or to completely avoid any possible losses. For instance, DDoS-attacks, targeting the service, will lead to inaccessibility of Front-End server. At the same time letting the Back-End function correctly and service the clients. Back-end server might loss its connection to the Internet, which, in case of the service being hacked, will make it harder or almost impossible to be gained access to by intruders. More than that, Front-End is suitable for establishing firewalls on the levels of application and intervention avoidance.

At the same time, it should be taken into account, that the rule to allow to initialize the interconnection between DMZ and the inner network must be created, which is a source of threat from a DMZ side. It should also be noted, that not all services can be divided into Front-End and Back-End components. More than that, company shall implement certain protection mechanisms to confront possible attacks from intruders, who have gained access to the DMZ.

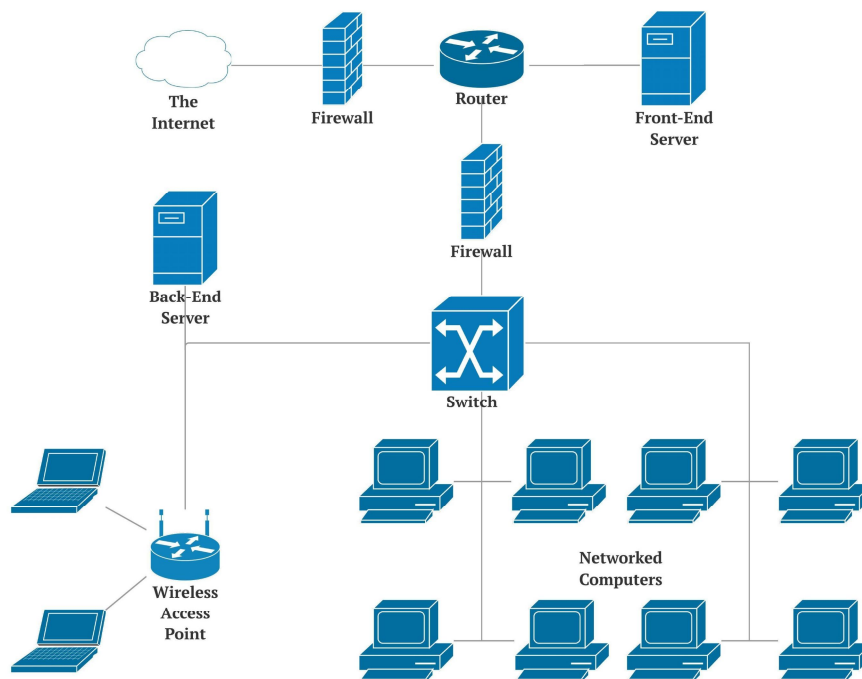


Fig. 1. Service separation to Front-End and Back- End

The extended variant of a DMZ network is a protected DMZ. Demilitarized zone, being directly accessible from the Internet, is at a higher risk of compromise of its nodes. Methods, being used in DMZ shall provide maximum redundancy in the case of intruder gaining access to one of the DMZ nodes. There are plenty of possible attacks that affect almost all systems that operate on manual settings. Some of them are: authentication bypassing, password brute forcing, exploiting vulnerabilities of network services, attacking Web-applications, etc. Part of attacks is based on Ethernet networks vulnerabilities, which allow MAC and IP spoofing. MAC spoofing can be prevented by enabling

MAC-filtering on a routing device. IP spoofing protection, in turn, can be implemented by segmenting the IP pool of the DMZ into smaller sub-pools and filtering all incoming connections.

Due to the large number of possible attack variations there is no universal solution to be found. Every particular case requires individual security configurations to be implemented. Traditional methods of addressing vulnerabilities are: implementing vulnerability management procedures, installing patches and using an intrusion prevention system.

Usage of a protected DMZ significantly increases the security level of a corporate network, but on the other hand requires more functional hardware and more time-consuming installation and maintenance process.

Conclusion. Options of organizing access to the corporate network, mentioned above, increase the security of transmission and storage of corporate information. A choice of each individual method is determined by the value of information, being protected, technical resources, which the company possesses and the qualification of specialists, which are responsible for system implementation and maintenance.

References

1. Eric Maiwald. Network Security, - McGraw-Hill Education; 3 edition. - 2012. - p.336
2. Kurose, James F. Computer networking: a top-down approach / James F. Kurose, Keith W. Ross. - 6th ed., - 2016. - p. 862
3. Бирюков А.А. Информационная безопасность: защита и нападение, - ДМК Пресс, 2016. – 536 с.
4. Mark Ciampa. CompTIA Security+ Guide to Network Security Fundamentals - Cengage Learning, 6 edition. – 2017. - p.720
5. Michael T. Simpson. Hands-On Ethical Hacking and Network Defense. - Cengage Learning, 3 edition. – 2016. – p.512
6. Michael Sikorski. Practical Malware Analysis: The Hands-On Guide to Dissecting Malicious Software – 2012 – p.800
7. Erdal Ozkaya. Cybersecurity – Attack and Defense Strategies: Infrastructure security with Red Team and Blue Team tactics / E. Ozkaya, Y. Diogenes - Packt Publishing. – 2018. – p. 384
8. Олифер, В. Г. Безопасность компьютерных сетей / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. - М.: Горячая линия-Телеком, 2016. – 643 с.
9. Польман Н., Кразерс, Т. Архитектура брандмауэров сетей предприятия: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 432 с.
10. Грайворонський М. В., Новіков О. М. Безпека інформаційно-комунікаційних систем. – К.: Видавнича група ВНУ, 2009. – 608 с.
11. Крэйг Ханг. TCP/IP. Сетевое администрирование, 3-издание. - Пер. с англ. - СПб: Сим-вол-Плюс, 2007. - 816 с.
12. Тимошенко А. О. Методи аналізу та проектування систем захисту інформації: Курс лекцій. – К.: Політехніка, 2007. – 174 с.
13. Шеховцов В. А. Операційні системи – К.: Видавнича група ВНУ, 2005. – 576 с.
14. Паркер Т., Снян К. TCP/IP. Для профессионалов. 3-е изд. СПб.: Питер, 2004. - 859 с.
15. Фейт С. TCP/IP: Архитектура, протоколы, реализация: пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Лори, 2000. – 424 с.

The editorial board received a manuscript on 19.04.2018

УДК 332.32

В.Д. СИДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., А.Ю. ПАЛАМАР, канд. техн. наук, доц.,
В.В. ХАРЕВСЬКА, магістрант
Криворізький національний університет

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ЩОДО ВСТАНОВЛЕННЯ МЕЖ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК НА ЯКІ РОЗПОВСЮДЖУЄТЬСЯ ПРАВО ЗЕМЕЛЬНОГО СЕРВІТУТУ

Мета. Мета статті полягає в обґрунтуванні та аналізі теоретичних і практичних рекомендацій при обстеженні, вишукуванні, топографо-геодезичних, картографічних, проектних та проектно-вишукувальних роботах, що виконуються з метою складання документації із землеустрою. У зв'язку із залученням у цивільний оборот земельних ділянок досить складним правовим явищем виступає система земельних сервітутів.

Сервітут є одним з видів прав на чужі речі, який може бути визначений як право обмеженого користування ними (майном), встановлене в інтересах певної особи. Сервітут належить до прав, що підпорядковують річ уповноваженій за ним особі (сервітуарію) у певному напрямі і з певною метою. Сервітут дозволяє сервітуарію користуватися природними

властивостями речі, щодо якої він встановлений. Встановлення сервітугу обмежує реалізацію права власності на конкретну земельну ділянку. Підставою для цього є домовленість між власниками сусідніх земельних ділянок.

Методи дослідження. Вирішення поставлених цілей в даній статті здійснено за допомогою статистичного, описового та графічного методів.

Наукова новизна. Науково-теоретичний аналіз конструкції сервітугів, способів їх набуття, практики застосування відповідного законодавства свідчить про актуальність даного інституту речового права, особливо в умовах розвитку земельної реформи, реформи житлово-комунального господарства та будівництва, розвитку законодавчої бази про речові права на нерухоме майно. У даній статті висвітлено теоретичні та законодавчі засади земельного сервітугу, розкриті його поняття та особливості, правову сутність розглянуто сервітуг як виду речових прав на чуже майно, що визначає практичну цінність даного дослідження.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що дана робота може використовуватися в організаціях, що мають безпосереднє відношення до земельних ресурсів.

Результати. Викладенні основи нормативно-правового та методичного регулювання земельних відносин та здійснено комплекс робіт із землеустрою щодо встановлення частин меж земельних ділянок, на які поширюється право земельного сервітугу.

Ключові слова: сервітуг, обмеження, земельна ділянка, земельний кодекс України, земельна реформа, раціональне використання землі, сусідство, земельний сервітуг.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-50-55

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. У зв'язку з проведенням земельної реформи в Україні, у тому числі приватизації земель, назріла необхідність забезпечення ефективного використання земельного фонду. Паювання земель із наступною передачею їх у приватну власність, приватизація, можливість викупу землі кожним бажаним господарювати на ній, інтенсифікація використання земель у населених пунктах та загальна просторова обмеженість земельного ресурсу створюють ситуацію, за якої земельний фонд подрібнюється на невеликі земельні ділянки, котрі об'єктивно не завжди межують з водними об'єктами, комунікаціями, шляхами сполучення та іншими благами і вигодами, необхідними власникам та користувачам цих ділянок для використання господарського потенціалу останніх повною мірою. Окрім цього, інтереси землевласників та землекористувачів часто є протилежними за змістом, що також потребує врегулювання. Забезпечення землевласників та землекористувачів кожної земельної ділянки можливістю доступу до вищевказаних благ і вигоди можливе, зокрема, завдяки встановленню земельних сервітугів.

У чинному земельному законодавстві бракує шляхів ефективного врегулювання більшості з перерахованих суперечностей, пропонується фрагментарне правове врегулювання порушених питань [12].

Юридична природа земельного сервітугу ще й досі залишається поза увагою науковців, про що свідчить факт неузгодженої регламентації земельних сервітутних відносин нормами різних галузей права.

Виникнення і розвиток інституту сервітугів знаходиться в прямій залежності з розвитком інституту приватної власності. Як правило, відокремлене майно не має всіх тих властивостей і якостей, які необхідні для нормального його використання: наприклад, на певній земельній ділянці немає води або ця ділянка не має прямого виходу до загальної дороги і т.п. Для того, щоб користування даною земельною ділянкою було можливо і доцільно, виникає потреба в користуванні (у відповідному відношенні) чужим майном (сусідньою земельною ділянкою).

Міцність задоволення потреби у вигляді такої правової форми полягала в речовому характері сервітутного права: предметом сервітутного права є саме майно, а не дія певної особи, що зобов'язалася допускати користування його власністю з боку інших осіб. Тому суб'єкт сервітутного права зберігав своє право користування чужим майном незалежно від того, чи залишається його власником той, хто встановив на свою власність сервітуг на користь іншої особи, або ж відбулася зміна власника. Сервітуг був обтяженням самої речі і разом з нею переходив до нового власника [1].

Складність формування земельних відносин у сільському господарстві, передачі прав на володіння, користування й розпорядження угіддями зумовлює потребу у формуванні земельно-інформаційної системи. Більшість проблем, пов'язаних з раціональним використанням земель всіх категорій і вдосконаленням їх розподілу, адаптацією сільськогосподарського і несільськогосподарського виробництва до сучасних земельних відносин і ринкових умов, визначенням земель, які можуть бути включені в спеціальні земельні фонди, а також надані громадянам та

юридичним особам для ведення особистого підсобного господарства, садівництва, городництва, тваринництва, індивідуального житлового і дачного будівництва, розвитку агропромислового комплексу, лісового господарства, міських і сільських поселень, промисловості, транспорту та інших галузей, найбільш повно і обґрунтовано можуть бути вирішені на рівні муніципальних закладів, яким є адміністративний район.

Створення ефективного ринку сільськогосподарських земель в Україні залишається питанням стратегічної важливості, від реалізації якого залежить динаміка соціально-економічного розвитку АПК, земельних відносин, та національної економіки в цілому.

Аналіз досліджень і публікацій. У сучасній українській цивілістиці вже зроблено низку кроків у дослідженні сервітутів не лише з теоретичної точки зору, а і в напрямі розроблення механізму їх практичної реалізації. Проблемам сучасного землеустрою присвячено роботи таких науковців як І.С. Будзілович, С.П. Войтенко, С.М. Волков, Д.С. Добряк, Й.М. Дорош, П.Г. Казьмір, В.М. Кривов, Т.В. Лісова, А.М. Мірошніченко, Л.Я. Новаковський, С.О. Осипчук, М.М. Романський, Р.В. Тихенко, А.Г. Тихонов, А.М. Третяк, З.П. Флекей, М.І. Шквир, А.Д. Юрченко та деяких інших. Основна увага в цих роботах приділяється теорії речових прав, поняттю суб'єктивного речового права, співвідношенню речових і зобов'язальних правовідносин, проблемам захисту речових прав.

Але навіть серед науковців та практиків донині зберігаються значні відмінності у баченні складу та змісту окремих видів землевпорядної документації, порядку їх розроблення, погодження та затвердження, методичних засад проектування тощо.

Постановка задачі. Відповідно до ст. 99 ЗК України [2], власники або землекористувачі земельних ділянок можуть вимагати встановлення таких земельних сервітутів: право проходу та проїзду на велосипеді; право проїзду на транспортному засобі по наявному шляху; право на розміщення тимчасових споруд; право прокладати на свою земельну ділянку водопровід із чужої природної водойми або через чужу земельну ділянку; право відводу води зі своєї земельної ділянки на сусідню або через сусідню земельну ділянку; право забору води з природної водойми, розташованої на сусідній земельній ділянці, та право проходу до природної водойми; право поїти свою худобу із природної водойми, розташованої на сусідній земельній ділянці, та право прогону худоби до природної водойми.

Сервітут може бути встановлений законом. Згідно з ч. 1 ст. 405 Цивільного кодексу України [3], члени сім'ї власника житла, які проживають разом з ним, мають право на користування цим житлом відповідно до закону. Дане право є особистим сервітutom. Для встановлення даного сервітуту не потрібно укладення договору, рішення суду чи заповіт [3]. Земельний сервітут може бути правом проходу або проїзду через ділянку, правом прокладання та експлуатації ліній електропередачі, водопроводу, забору води з водойми, розташованої на сусідній ділянці, прогону худоби тощо.

Розглядаючи інститут сервітуту, визначають такі його ознаки:

- речово-правовий характер даного інституту;
- сервітут представляє право обмеженого користування річчю, що дозволяє виділити його серед інших видів речових прав, пов'язаних із користуванням;
- наявність обтяженого сервітutom індивідуально визначеного нерухомого майна;
- сервітут встановлюється у випадку, якщо особа іншим чином не може реалізувати своє право;
- сервітут повинен бути встановлений найменш обтяжливим способом щодо власника нерухомості;
- безспірною ознакою сервітуту є можливість його абсолютного захисту, яким користується уповноважений суб'єкт, від посягань третіх осіб, в тому числі і власника;
- сервітутам властивий принцип «слідування»;
- сервітут зберігають чинність у випадку переходу права власності на обтяжену річ до інших осіб;
- сервітут не підлягають відчуженню.

Цивільний кодекс України поділяє сервітуту на земельні та особисті. Відповідно до ст. 401 Цивільного кодексу України, право користування чужим майном (сервітут) може бути встановлене щодо земельної ділянки, інших природних ресурсів (земельний сервітут) або іншого нерухомого майна для задоволення потреб інших осіб, які не можуть бути задоволені іншим чином [5].

Варто зазначити, що Україна у цьому питанні займає проміжну позицію. Закріпивши положення про права на чужі речі і зокрема сервітути в самостійній главі Цивільного кодексу України, вітчизняний законодавець все ж вдався до описового, загального підходу в частині визначення правового режиму окремих видів сервітутів [4]. Більше того, доводиться констатувати, що вітчизняна модель сервітуту своїм предметом має лише нерухомість. Це випливає з буквального тлумачення ст.401 Цивільного кодексу України, в ч. 1 і 2 якої фігурує лише «земельна ділянка», «інші природні ресурси» та «нерухоме майно» як об'єкти сервітутних прав [3].

Земельні сервітути на земельних ділянках державної та комунальної власності, які не надані у власність чи користування, встановлюються за договором з органом виконавчої влади або органом місцевого самоврядування в межах повноважень, визначених Земельним кодексом України, як, наприклад, у випадках, передбачених частинами 6, 8, 10, 11 статті 16 «Про землі енергетики та правовий режим спеціальних зон енергетичних об'єктів». Сервітут може бути встановлений договором, законом, заповітом або рішенням суду. В свою чергу, суборенда встановлюється лише на підставі договору. Укладенню договору суборенди чи сервітуту передують виготовлення документації із землеустрою. Відповідно до ст.55-1 Закону України «Про землеустрій» [6] для встановлення права суборенди чи сервітуту на частину земельної ділянки, виготовляється технічна документація із землеустрою щодо встановлення меж частини земельної ділянки, на яку поширюється право суборенди, сервітуту [5, 6].

Земельні ділянки в силу природних обставин не можуть бути рівноцінними, вони можуть відрізнятися між собою розмірами, місцем знаходження, наявністю чи відсутністю водоймищ, якістю ґрунтів тощо. Для усунення таких складнощів у використанні земельних ділянок і може бути застосоване право земельного сервітуту.

Суб'єктами сервітутних відносин завжди виступають дві сторони: власник земельної ділянки та суб'єкт сервітуту права на неї. Земельний сервітут здійснюється способом, найменш обтяжливим для власника земельної ділянки, щодо якої він встановлений. Якщо між власниками сусідніх земельних ділянок досягнуто згоди щодо встановлення земельного сервітуту – ця домовленість має бути легалізована шляхом укладання договору, в якому зазначається предмет сервітуту, його цільове призначення та розмір оплати за користування або вказівка про безоплатність сервітуту.

Якщо сторони не можуть досягти згоди щодо встановлення сервітуту для обслуговування земельної ділянки, спір розглядається у судовому порядку і позивач повинен довести, що нормальне господарське використання його земельної ділянки неможливе без надання сервітуту на чужу земельну ділянку, а іншим способом задовольнити свої господарські потреби неможливо.

Встановити межі частини земельної ділянки, на яку поширюється право земельного сервітуту в селі Новасилівка Софіївського району Дніпропетровської області, що розташоване на берегах пересихаючого струмка, викопіювання з публічної кадастрової карти якого представлено на рис. 1. Траса підвідного водопроводу с. Жовтнєве – с. Новоолексіївка Софіївського району Дніпропетровської області розташована вздовж автодороги.

Загальна площа земельної ділянки державного промислового підприємства становить 1,3399 га., в т.ч. землі на які встановлюється земельний сервітут. Технічною документацією поширюється право сервітуту на площу 0,2329 га в межах земельної ділянки Державного промислового підприємства «Кривбаспромводопостачання». Тобто площа сервітуту становить 0,2329 га.

Складання документації виконувалось відповідно до вимог чинного законодавства, а саме :

Земельного кодексу України [2];

Закону України «Про землеустрій» [6];

Закону України «Про Державний земельний кадастр» [8];

Постанови КМУ від 17.10.2012 р. №1051 «Порядок ведення Державного земельного кадастру» [9];

Наказу Державного комітету України із земельних ресурсів від 18.05.2010 року №376 «Про затвердження Інструкції про встановлення (відновлення) меж земельних ділянок в натурі (на місцевості) та їх закріплення межовими знаками» [10];

Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000 , 1:2000 , 1:1000 , 1:500 [11].

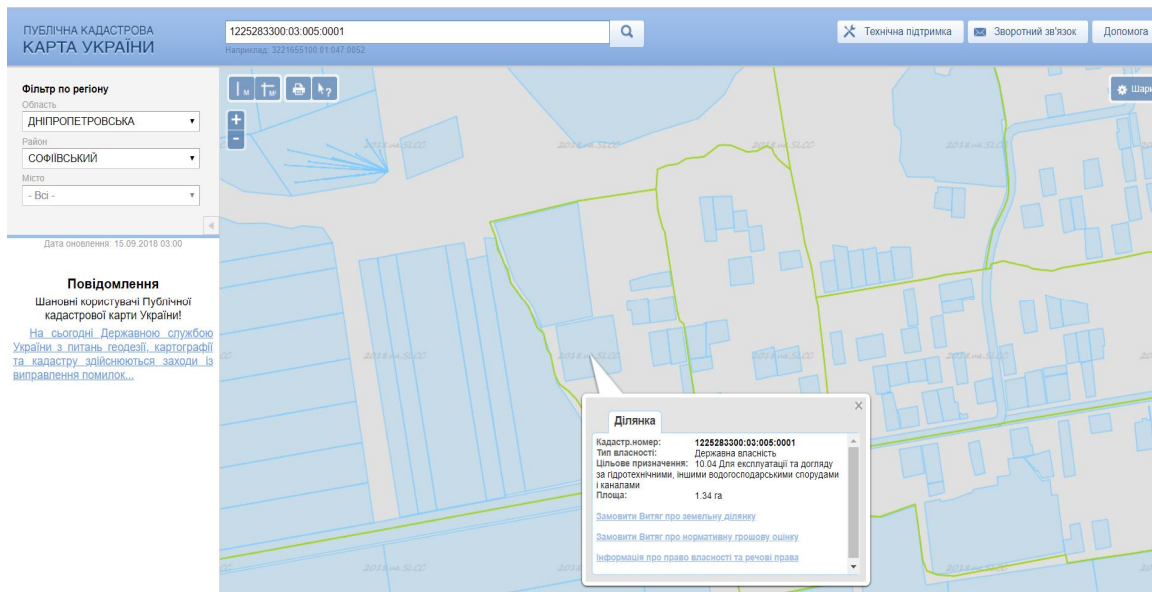


Рис. 1. Розташування земельної ділянки на яку поширюється право сервітуту

Роботи по складанню технічної документації із землеустрою щодо встановлення меж земельних сервітутів включають:

польові геодезичні роботи;

складання кадастрового плану земельного сервітуту;

складання збірного кадастрового плану земельного сервітуту;

складання технічної документації із землеустрою Кадастровий номер земельної ділянки: 1225283300:03:005:0001.

Топографо-геодезичні роботи виконувалися за допомогою двочастотного GPS-приймача «Trimble» R4. Найближча базова станція – RTCM0000, яка розташована у м. Кривому Розі. Знімання проводились в режимі RTK, точність вимірів: в плані – 8 мм + 0.5 мм/км, по висоті – 15 мм +0.5 мм/км СКП. Координати кутів повороту меж земельної ділянки обчислені в державній системі координат 1963 року.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Дослідження теоретичних аспектів сервітутів свідчить про специфічний правовий статус, місце і роль цього інституту в системі регулювання речових прав на нерухоме майно і правочинів із ним. Розглянуті міркування щодо правової природи сервітутів, наявні в доктрині, основні напрями законодавчого регулювання сервітутів дозволяють зробити висновок щодо правової природи сервітуту, перш за все, як речового правового, а не обмежувального інституту цивільного права [12-15]. Після опрацювання даних, отриманих в результаті проведених топографо-геодезичних робіт, робіт із землеустрою, складений кадастровий план земельної ділянки в масштабі 1:1000.

Згідно зі ст.34 Закону України «Про Державний земельний кадастр» [8] на кадастровому плані земельної ділянки відображено:

площу земельної ділянки;

зовнішні межі земельної ділянки (із зазначенням суміжних земельних ділянок, їх власників, користувачів суміжних земельних ділянок державної чи комунальної власності);

координати поворотних точок земельної ділянки;

лінійні проміри між поворотними точками меж земельної ділянки;

кадастровий номер земельної ділянки;

кадастрові номери суміжних земельних ділянок (за наявності);

межі земельних угідь;

межі частин земельних ділянок, на які поширюється дія обмежень у використанні земельних ділянок, права суборенди, сервітуту;

контури об'єктів нерухомого майна, розташованих на земельній ділянці;

таблиці із зазначенням координат усіх поворотних точок меж земельної ділянки, переліку земельних угідь, їх площ, відомостей про цільове призначення земельної ділянки та розробника документації із землеустрою на земельну ділянку.

Список літератури

1. Харевська В.В. Теоретично-методичні засади щодо встановлення меж земельних ділянок на які розповсюджується право земельного сервітуту / В.В. Харевська, В.Д. Сидоренко, А.Ю. Паламар // Розвиток промисловості та суспільства: міжнар. наук.-техн. конф., 23–25 трав. 2018 р. : тези доп. – Кривий Ріг. – 2018. – С. 70-71
2. Земельний кодекс України №2768-III від 25 жовтня 2001 року [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2768-14>.
3. Цивільний кодекс України / Верховна Рада України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/435-15>.
4. Кулинич П. Право земельного сервітуту: поняття, види та порядок реалізації / П. Кулинич // Юридичний журнал. – 2003. – № 10. – С. 64-68.
5. Про державний земельний кадастр: Закон України від 07.07.2011 № 3613– VI // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2012. – № 8. – Ст. 61.
6. Про землеустрій: Закон України від 22.05.2003 № 858-IV // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2003. – № 36. – Ст. 282.
7. Про оренду землі: Закон України від 06.10.1998 № 161-XIV // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1998. – № 46-47. – Ст. 280.
8. Закон України «Про Державний земельний кадастр» / Верховна Рада України. Поточна редакція від 04.06.2017. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3613-17>.
9. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру» від 17 жовтня 2012 року № 1051 / Кабінет Міністрів України. Поточна редакція від 29.08.2017. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-%D0%BF>.
10. Наказ Державного комітету України із земельних ресурсів від 18.05.2010 року №376 «Про затвердження Інструкції про встановлення (відновлення) меж земельних ділянок в натурі (на місцевості) та їх закріплення межовими знаками» / Державний комітет України із земельних ресурсів. Поточна редакція від 23.08.2013. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0391-10>.
11. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000 ,1:2000 , 1:1000 , 1:500. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98>.
12. Бондарчук Н. Поняття й особливості земельного сервітуту за законодавством України / Н.В. Бондарчук // Порівняльно-аналітичне право. – 2017. – № 1. – С. 116-118.
13. Земельне право України : підручник / [Г.В. Анісімова, Н.О. Багай, А.П. Гетьман та ін.]; За ред. М.В. Шулги. – К. : Юрінком Інтер, 2004. – 368 с.
14. Непийвода Василь. Правове регулювання в галузі лісів: Доба утвердження підтриманого розвитку / Василь Непийвода. – К. : НДІ приватного права і підприємництва, 2004. – 339 с.
15. Finland. The Country of Forest / Finish Forestry Accotiation. – Helsinki : 1996. – 20 p.

Рукопис подано до редакції 05.04.2018

УДК 622.27

В.О. КОЛОСОВ, З.Р. МАЛАНЧУК, доктори техн.наук,
С.В. ПИСЬМЕННИЙ, канд.техн.наук, доц., К.М. КОВБИК, асистент
Криворізький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ГІРСЬКОГО МАСИВУ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ НА СТАТИЧНИХ МОДЕЛЯХ

Мета. Метою даної роботи є встановлення закономірностей кількісного складу еквівалентного матеріалу при моделюванні фізичних процесів в лабораторних умовах на статичних моделях, які протікають в гірському масиві.

Методи дослідження. Для визначення якісного складу еквівалентного матеріалу існує багато методик, однак вони потребують удосконалення за рахунок визначення емпіричних формул, які дозволять значно скоротити час на підбір еквівалентного матеріалу. Слід враховувати, що геологічна характеристика порід Криворізького залізорудного басейну суттєво відрізняється на кожній шахті, тому шляхом статистичної обробки отриманих раніше необхідно їх систематизувати.

Наукова новизна. Встановлено, що на якісний склад еквівалентного матеріалу суттєво впливають кількісні показники суміші. Так зі збільшенням кількості парафіну з 1,6 до 2,4% межа міцності еквівалентного матеріалу збільшується з 400-600 до 1700-2400 кг/см². Вперше встановлені залежності необхідної кількості чавуну в еквівалентному матеріалі від межі міцності еквівалентного матеріалу та відсоткового співвідношення парафіну та коефіцієнту Пуассона від кількості чавуну в еквівалентному матеріалі та відсоткового співвідношення парафіну.

Практична значимість. Отримані емпіричні залежності кількісного складу еквівалентного матеріалу за допомогою яких встановлюються фізико-механічні властивості еквівалентного матеріалу дозволяють зменшити кількість дослідів, та час на його приготування.

Результати. В залежності від необхідних фізико-механічних властивостей еквівалентного матеріалу, згідно

отриманих емпіричних залежностей розраховуємо співвідношення чавуну до гранітної крихти. Так, при межі міцності еквівалентного матеріалу 1000 кг/см^2 кількість чавуну в еквівалентному матеріалі повинна складати 4 або 16%, а гранітної крихти відповідно 40 або 18%, при цьому коефіцієнт Пуассону складатиме 0,2 та 0,3 відповідно.

Ключові слова: еквівалентний матеріал, критерій подоби, моделювання, піщано-парафінова суміш, об'єкт, руда.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-55-62

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Видобуток багатих залізних руд Криворізького залізорудного басейну здійснюється на глибинах нижче 1135 м [1]. З подальшим веденням гірничих робіт знижується річна продуктивність та погіршуються показники вилучення рудної маси [2, 3]. Аналіз проектно-технічної документації показав, що наслідком зниження показників вилучення є проникнення пустих порід у вироблений простір за рахунок порушення стійкості гірського масиву внаслідок зміни гірського тиску. Підвищити показники вилучення рудної маси можливо шляхом удосконалення технологічних процесів підземного виробництва. На теперішній час розроблено та впроваджено у виробництво значна кількість новітніх технологій, які дозволяють підвищити коефіцієнт вилучення на окремих ділянках родовища з 0,88 до 0,9-0,92. Однак, в 20% впровадження новітніх технологій не призводить до очікуваного економічного ефекту. Це пов'язано з тим, що при перевірці достовірності результатів дослідження в лабораторних умовах не враховуються фактори, що змінюють гірський тиск навколо процесу, який досліджується.

На даний час розроблено велика кількість методик і програмних комплексів, які дозволяють в лабораторних умовах створити копію залізорудного родовища Криворізького басейну. Однак, при їх використанні виникають складності при створенні динамічної моделі.

Аналіз досліджень і публікацій. Згідно аналізу проектно-технічної документації встановлено, що поклади Криворізького залізорудного басейну є неоднорідними та представляють собою складноструктурне родовище [4]. В залежності від напрямку дослідження, для вивчення процесів які протікають в блоці або гірському масиві використовують лабораторне моделювання з застосуванням натуральних або еквівалентних матеріалів. При дослідженні стійкості гірського масиву дослідники застосовують моделювання з застосуванням еквівалентних матеріалів.

Основою моделювання є вибір теорії подібності, масштабу моделі, а також встановлення граничних умов об'єкта і моделі, при яких процеси будуть подібними до натуральних [5-8]. Для отримання інформації про явища, що відбуваються в досліджуваному об'єкті, штучному об'єкті (моделі), надають об'єктивну відповідність на окрему етапі дослідження. У класичному моделюванні зв'язує величиною для змінних досліджуваного об'єкта є масштаб моделювання. На підставі загального визначення властивостей подібних фізичних явищ можна охарактеризувати механічно подібні системи, у яких всі параметри, які характеризують механічні процеси, що відбуваються в одній системі, можуть бути отримані простим множенням відповідних параметрів іншої системи на постійні перехідні множники. При цьому параметри різної фізичної природи мають різні множники, але для однотипних параметрів цей множник (константа подібності) має одне незмінне значення.

Тому, фізико-механічні властивості моделі і природи при відповідному геометричному масштабі моделювання повинні володіти однаковими властивостями, які визначаються за виразами

$$[\sigma]_m = \gamma_m \cdot l_m \cdot [\sigma]_n \cdot M / (\gamma_n \cdot l_n), \quad E_m = \gamma_m \cdot l_m \cdot E_n \cdot M / (\gamma_n \cdot l_n), \quad (1)$$

де γ_m, γ_n – щільність матеріалів, відповідно моделі і природи; $[\sigma]_m, [\sigma]_n$ – будь-яка характеристика міцності характеристика матеріалу моделі і природи; E_m і E_n – відповідна моделі характеристика матеріалу природи, M – масштаб моделювання.

Масштаб моделювання згідно другої теореми подоби, який дозволяє встановити можливість перетворення фізичного явища визначається за виразом [9-12]

$$l_n' / l_m' = l_n'' / l_m'' = \dots = l_n^i / l_m^i = M_l, \quad (2)$$

де l_n, l_m – лінійні розміри, відповідно в моделі і природі; M_l – деяке безрозмірне число, що є визначальним критерієм подібності.

Для моделювання проявів гірського тиску на моделях із еквівалентних матеріалів найбільш поширеним є метод дослідження, розроблений Г.Н.Кузнецовим [9]. Даний метод застосовують

для вирішення широкого кола питань, пов'язаних зі зрушенням порід і зміною напруженого стану в гірському масиві.

Співвідношення фізико-механічних властивостей, виготовлених зі штучних матеріалів, до аналогічних властивостей матеріалу природи з урахуванням геометричної подоби визначають із закону динамічного подоби Ньютона [9]

$$P_m / (\rho_m \cdot l_m^2 \cdot v_m^2) = P_n \cdot M / (\rho_n \cdot l_n^2 \cdot v_n^2) = idem, \quad (3)$$

де P_m, P_n – сили, відповідно діючі в моделі і природі; ρ_m, ρ_n – щільність матеріалів, відповідно моделі і природи; v_m, v_n – швидкості переміщення подібних точок, відповідно моделі і природи.

Як правило, при моделюванні механічних процесів, що відбуваються в гірському масиві при веденні гірничих робіт, необхідно враховувати наступні фізико-механічні характеристики еквівалентного матеріалу: міцність на стиск; розтяг; вигин; модуль пружності; зчеплення; пластичні і реологічні характеристики. При цьому слід враховувати, що кут внутрішнього тертя і коефіцієнт Пуассона за величиною повинні бути однаковими як в моделі, так і в природі [13, 14].

Подоба початкових умов досягається створенням в моделі копії геологічного розрізу порід в природі на всю глибину від поверхні землі до місця моделювання гірничих робіт із відтворенням в моделі шаруватості та різних геологічних порушень (розломів, тріщинуватості і т.п.), що досліджуються та враховувати технологію виготовлення моделі. У рішенні деяких задач допускається заміна верхніх шарів штучними силами (метод компенсує навантаження).

Тому, при лабораторному моделюванні використовують різні наповнювачі і зв'язуючі речовини, які складаються з: кварцового піску, меленої слюди, крейди, меленого граніту, парафіну, гіпсу, тальку, цементу і т.п. Вибір наповнювача і в'язучих речовин для еквівалентного матеріалу залежить в першу чергу від фізико-механічних властивостей досліджуваних гірських порід, а також від необхідних вихідних характеристик згідно з прийнятим масштабом моделювання. Після випробування різної комбінації речовин які входять до еквівалентного матеріалу, а також технології його виготовлення приймається остаточний склад. Для приготування необхідного складу еквівалентного матеріалу, потрібна значна кількість часу, матеріалів і трудовитрат.

Також є особливо важливим дотримання вимог граничних умов в моделі [15]. Однією з таких є те, що напружено-деформований стан на кордонах моделі відрізняється від напружено-деформованого стану на кордонах моделюємої ділянки природи, так як в останньому випадку є зв'язок із навколишнім масивом, а тому механічні процеси на кордонах моделі будуть дещо відрізнятися від процесів, що відбуваються в природі. Для дотримання граничних умов при вирішенні об'ємних завдань необхідно, щоб модельована ділянка родовища в моделі була дещо більшою у порівнянні з досліджуваним в природі.

При моделюванні процесу випуску обваленої руди дослідники застосовують натуральні матеріали зі зменшеними розмірами. При цьому масштаб моделювання визначається за формулою (2). Однак, окрім масштабу моделювання, впливають також різноманітні фактори.

Так, Куликов В.В. [12], більш широко дослідив процес випуску руди як теоретично так і на моделях та запропонував покласти в основу показник сипучості матеріалу. Малахов Г.М. [13] досліджував вплив практично всіх факторів, що впливають на показники випуску (формування еліпсоїдів випуску і розпушення та ін.). Однак подібність процесів при випуску в моделі і в природі досягається підбором матеріалу моделі. Імениті В.Р. [17] при розгляді фізичного моделювання з використанням сипких матеріалів, більш чітко вказав принцип підбору матеріалу моделі. Подальші дослідження авторів [16,17], підтверджують необхідність дотримання гранулометричного складу сипкого матеріалу.

Гранулометричний склад руди оцінювався за величиною середнього діаметру шматка, який визначався як середньозважена величина за формулою

$$d_{сеп} = \sum(d_i \times \gamma_{\phi}) / 100, \quad (4)$$

де $d_{сеп}$ – середній діаметр фракції, мм; d_i – діаметр відповідної фракції, мм; γ_{ϕ} – процентна кількість фракції, %.

Одним із найважливіших факторів при моделюванні є коефіцієнт розрихлення. На практиці коефіцієнт первинного розрихлення залежить від співвідношення розмірів очисного блоку та компенсаційного простору і складає від 1,2 до 1,4. За результатами виконаних раніше лабораторних досліджень [12] було встановлено, щоб забезпечити безперервний випуск матеріалу з

моделі коефіцієнт первинного розрихлення K_p повинен бути більше ніж 1,4, але зі збільшенням коефіцієнту первинного розрихлення більше ніж 1,6 змінюються параметри еліпсоїду розрихлення (об'єм, мала та більша піввісі) від методики запропонованої Малаховим Г.М. [13].

При випуску обваленої руди з блоку на обмежених моделях по висоті, необхідно встановити розмір зовнішнього навантаження від обвалених порід вищележачих горизонтів. Зовнішнє навантаження P_m , яке необхідно прикласти на обвалену руду при лабораторному моделюванні, визначається за формулою, [10, 11]

$$P_m / (\gamma_m \times l_m^3) = P_n \cdot M / (\gamma_n \times l_n^3). \quad (5)$$

Рішення задачі моделювання та встановлення закономірностей випуску обваленої руди з одного або системи випускних отворів пов'язане з дотриманням початкового стану системи та подоби умов на границях.

Однак, для досягнення високих показників виймання все частіше приходиться вирішувати питання в комплексі. Так, при удосконаленні випуску обваленої руди з метою підвищення показників вилучення або продуктивності праці, необхідно враховувати стан порід, які розташовуються навколо блоку, що відпрацьовується, рис. 1.

Поєднання двох різних методів моделювання в одну систему, необхідно здійснити ряд підготовчих робіт, пов'язаних по-перше з вибором якісного та кількісного складу еквівалентного матеріалу, по-друге дотримання одночасного масштаб часу при застосуванні натуральних та еквівалентних матеріалів в процесі моделювання.

Постановка задачі. Удосконалити методику з визначення кількісного складу еквівалентного матеріалу, який буде відповідати матеріалу в натурі, для забезпечення скорочення витрат часу на виготовлення та випробування зразків необхідно.

Виклад матеріалу і результати. Для визначення процесів, які протікають в лабораторній моделі доцільно застосувати комплексний метод моделювання, який включає в себе використання еквівалентних та натуральних матеріалів, рис. 1.

Даний метод дозволить оцінити не тільки показники вилучення, а також стан масиву навколо виробленого простору. Сутність даного методу полягає в наступному: натуральний матеріал 1 застосовуємо для визначення показників вилучення руди з очисних блоків в залежності від способу та режиму випуску; еквівалентний матеріал 2 – з метою оцінки стійкості вміщуючих порід в процесі випуску обваленої руди, рис. 1.

Всі еквівалентні матеріали по природі сполучного речовини діляться на наступні групи: неорганічні матеріали (цемент, гіпс і т.п.), які володіють крихкими властивостями; вуглеводні нафтового походження (парафін, вазелін і т.п.), що мають пластичні і пружні властивості; синтетичні полімери (епоксидна, карбамідних і інші смоли) з крихкими і пружно-пластичними властивостями; смоли природного походження (каніфоль, пек та ін.), пов'язані з крихким.

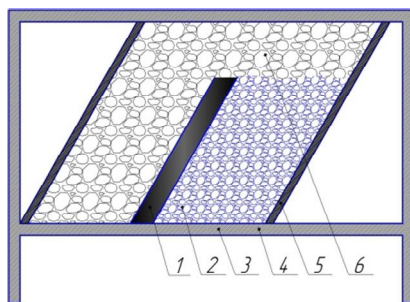


Рис. 1. Загальний вид лабораторної моделі: 1 – еквівалентний матеріал; 2 – натуральний матеріал, що імітує руду; 3 – корпус моделі; 4 – випускний отвір; 5 – стінка, що імітує лежачий бік; 6 – натуральний матеріал, що імітує вміщуючі породи.

З проведених досліджень було встановлено, що при визначенні стійкості гірського масиву та напружень навколо гірничих виробок доцільно використовувати неорганічні матеріали, засновані на піщано-парафіновій основі. Для умов Криворізького залізничного басейну встановлено, що доцільно застосовувати в складі еквівалентного матеріалу наступні речовини: гранітну крихту, чавун, кварцовий пісок, слюду, парафін.

Технологія виготовлення еквівалентного матеріалу на піщано-парафіновій суміші полягає в наступному: гранітну крихту, кварцовий пісок і чавуну стружку висушують, просіюють та нагрівають до температури 130°C. У відповідних пропорціях гранітну крихту, кварцовий пісок і чавунну стружку засипають в змішувач і змішують 10-15 хв. В отриману піщану суміш засипається заздалегідь відважені роздрібнена порція парафіну і далі перемішується в змішувачі протягом 25-30 хв при температурі 130±3 °С.

Готова суміш в гарячому стані шарами засипається в опалубку (зазвичай товщиною до 2 см) і далі проводиться розпушення суміші і вирівнювання шару перед укочуванням. Зазвичай

укочення відбувається за 10 повних циклів (в один цикл входить прямий і зворотний хід катка), при потужності укочує шару в 2 см рекомендується робити 15 повних циклів. При моделюванні трещиноватого масиву в процесі виготовлення моделі шари розсікаються спеціальними ножами відповідно до розташування природних тріщин.

Визначення пружних властивостей еквівалентного матеріалу проводиться статичним методом на зразках з розмірами 50×50×100 мм. Відношення висоти зразка до довжини ребра підстави повинно бути не менше 2 для створення в середній частині навантажувати зразка рівномірного одновісного напруженого стану. На спеціальній установці на зразок прикладають навантаження та рівномірно збільшують тиск на зразок до моменту його руйнування.

Тимчасовий опір досліджуваних зразків на стиск виконують відповідно до прийнятого міжнародним стандартом визначення міцності порід на одновісне стискання та визначають за виразом, Н/м²

$$G_{cm} = P/S, \quad (6)$$

де P – руйнівне навантаження, Н; S – площа поперечного перерізу зразка, м².

Площа поперечного перерізу зразка визначається за формулою, см²

$$S = b_1 \cdot b_2, \quad (7)$$

де b_1, b_2 – геометричні параметри зразка, відповідно ширина та довжина, см.

При визначенні деформаційних характеристик необхідно заміряти деформації зразків при випробуваннях в поздовжньому і поперечному напрямках дії навантаження. Зразки випробували при різних стадіях навантаження (через 10-15% від навантаження, що руйнує зразок). Для забезпечення стабільності умов на контактах зразка з плитами преса початкове навантаження, що створює початкові напруження σ_0 , не повинно перевищувати 5-10% від навантаження, що руйнує зразок.

На кожному ступені навантаження відразу після її застосування фіксуються деформації зразка в поздовжньому (Δh) і поперечному (Δb) напрямках і розраховується коефіцієнт відносної поперечної деформації зразків

$$\mu = \frac{\varepsilon_{b_i}}{\varepsilon_{h_i}} = \frac{h \cdot (\Delta b_i - \Delta b_0)}{b \cdot (\Delta h_i - \Delta h_0)}, \quad (8)$$

де h і b – початкові, відповідно висота і ширина зразку; Δh_0 і Δb_0 – відповідно поздовжня і поперечна деформації зразку при початковому напруженні σ_0 .

Модуль пружності визначається за виразом

$$E = h \cdot (\sigma_i - \sigma_0) / \Delta h_{0i}, \quad (9)$$

де σ_i і σ_0 – напруження, відповідно в зразку при i -му ступеню навантаження та в початковому стані, кг/см²; Δh_{0i} – деформація зразка після розвантаження до початкового напруження σ_0 , визначається за формулою, см

$$\Delta h_{0i} = h_{0i} - h_i, \quad (10)$$

де h_{0i} – висота зразка при i -му ступеню навантаження; h_i – висота зразка після зняття навантаження до початкового стану σ_0 .

Для визначення кількісного складу еквівалентного матеріалу для залізистих кварцитів було приготовлено понад 100 лабораторних зразків. Слід зазначити, що кількості чавуну і гранітної крихти становить 34%, табл. 1.

Таблиця 1

Найменування	Кількісний склад еквівалентного матеріалу									
	Дослід									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Чавун, %	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Гранітна крихта, %	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14
Парафін, %	1,6–2,4									
Слюда, %	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Кварцовий пісок, %	63,9–63,1									

У результаті встановлення якісного складу еквівалентного матеріалу були отримані емпіричні залежності з визначення зовнішнього навантаження, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона від кількісного складу чавуну, граніту і парафіну. Так, напруження, що виникають в масиві еквівалентного матеріалу, визначається за емпіричною формулою, кг/см²

$$\sigma = x^2 \cdot (A \cdot x^2 + C) + x \cdot (B \cdot x^2 + D) + 1383,7 \cdot \xi^2 - 6947,3 \cdot \xi + 9346,1, \quad (11)$$

де A, B, C, D – дійсні числа, які визначаються емпіричними виразами, табл. 2; x – кількість чавуну в складі еквівалентного матеріалу.

Таблиця 2

Емпіричні рівняння дійсних чисел входять в рівняння (6)

Параметр	Формула	Коефіцієнт кореляції, R
A	$0,0560 - 0,0018 \cdot \xi$	0,9978
B	$0,0624 \cdot \xi - 0,3187$	0,9972
C	$2,9441 \cdot \xi^2 - 9,0704 \cdot \xi + 11,7490$	0,9997
D	$-143,43 \cdot \xi^2 + 476,2 \cdot \xi - 395,77$	0,9996

де ξ – процентна кількість парафіну в піщано-парафіновій суміші (за даними моделювання приймається від 1,5 до 2,4), %

В процесі випробувань зразків із еквівалентних матеріалів були побудовані залежності по визначенню кількісного складу еквівалентного матеріалу від фізико-механічних властивостей, якими повинна володіти піщано-парафінова суміш, рис.2.

З графіків приведених на рис.3 видно, що зі збільшенням відсоткового співвідношення кількості чавуну в еквівалентному матеріалі збільшується коефіцієнт Пуассону.

Таким чином, в залежності від необхідних фізико-механічних властивостей еквівалентного матеріалу, згідно графіків наведених на рис. 2 та рис.3 обираємо співвідношення чавуну до гранітної крихти. Так, якщо нам необхідно щоб межа міцності еквівалентного матеріалу складала 1000 кг/см^2 кількість чавуну в еквівалентному матеріалі повинна скласти 4 або 16%, а гранітної крихти відповідно 40 або 18%, при цьому коефіцієнт Пуассону складатиме 0,2 та 0,3 відповідно.

Висновки. У процесі досліджень встановлені залежності кількісного складу еквівалентного матеріалу для заданих фізико-механічних властивостей. Отримані емпіричні залежності кількісного складу еквівалентного матеріалу, що дозволяє значно зменшити кількість дослідів, за допомогою яких встановлюються фізико-механічні властивості еквівалентного матеріалу.

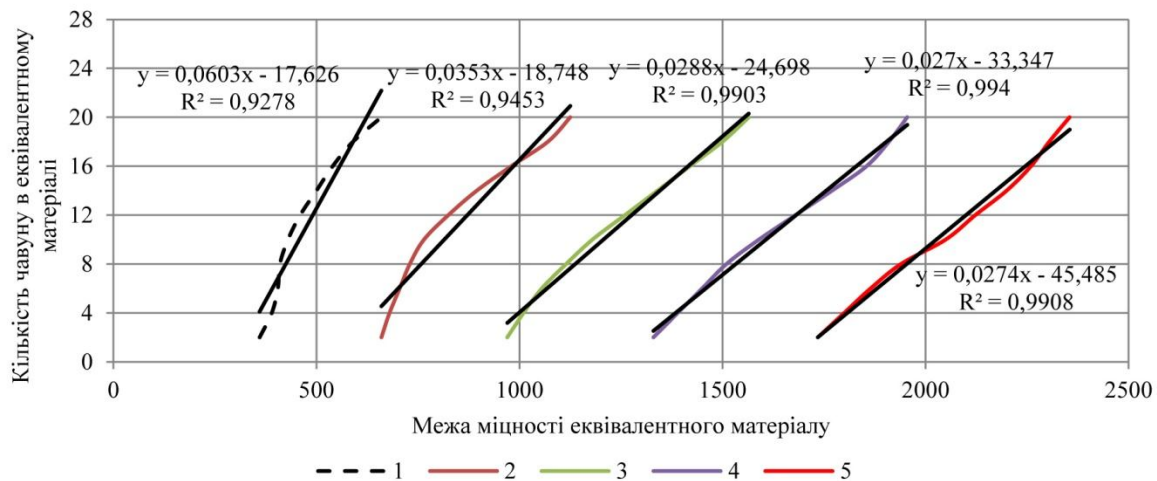


Рис. 2. Залежності необхідної кількості чавуну в еквівалентному матеріалі від межі міцності еквівалентного матеріалу та відсоткового співвідношення парафіну: 1-5 – відповідно 1,6; 1,8; 2,0; 2,2 і 2,4%

Залежності коефіцієнту Пуассона від кількості чавуну в еквівалентному матеріалі наведені на рис. 3.

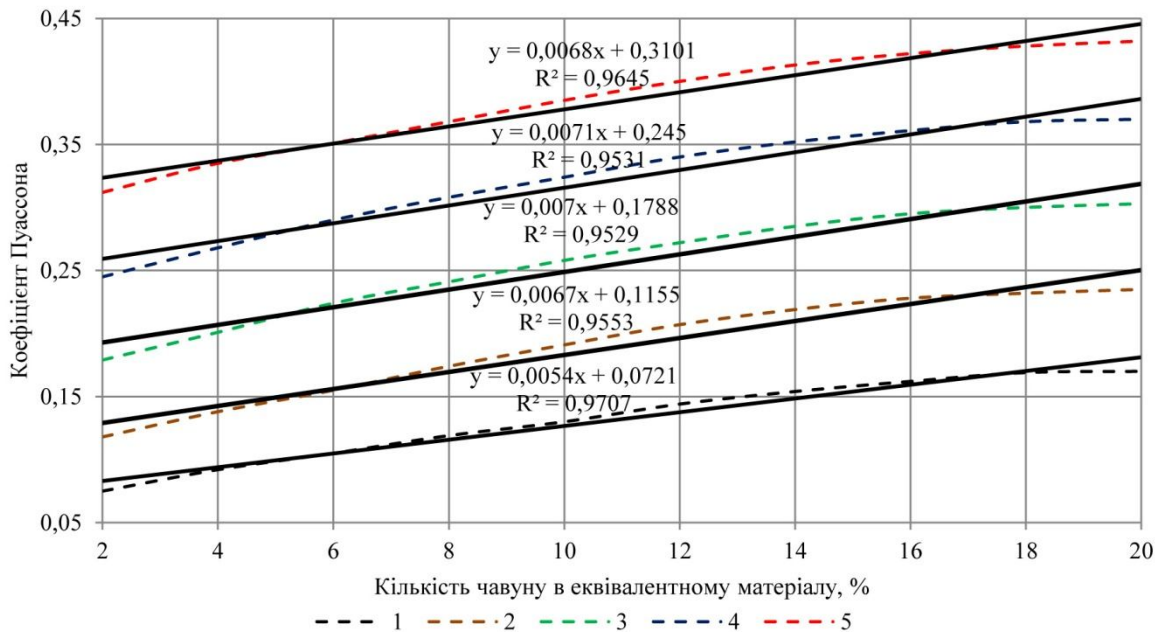


Рис. 3. Залежності коефіцієнту Пуассона від кількості чавуну в еквівалентному матеріалі та відсоткового співвідношення парафіну: 1-5 – відповідно 1,6; 1,8; 2,0; 2,2 и 2,4%

Список літератури

1. Казаков В.Л., Паранько И.С., Сметана Н.Г., Шипунова В.А., Коцюрба В.В., Калиниченко О.А. «Природнича географія Кривбасу». – Кривий Ріг: «Видавничий дім», 2005.
2. Колоколов О.В. Технологія видобування джеспіліту на шахтах Криворізького залізрудного басейну / О.В. Колоколов, О.Є. Хоменко, М.В. Нетеча // Науковий вісник НГУ. 2006. - №7. – С. 3-7.
3. Бондаренко В.И., Ковалекская И.А., Симанович Г.А., Фомичев В.В. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного мелкослоистого породного массива вокруг пластовой выработки. Книга 1. Допредельное деформирование системы "порода-крепь". – Монография. – Д.: Системні технології, 2006. – 172 с.
4. Stupnik N.I., Kolosov V.A., Kalinichenko V.O., Pismenniy S.V. & Shepel A.I. (2014). Modeling of stopes in soft ores during ore mining theme. Metallurgical and mining industry, no.3, pp. 32–36.
5. Хоменко О.Е. Моделирование на эквивалентных материалах выработанного пространства рудных шахт [Текст] / О.Е. Хоменко, В.В. Русских, М.Н. Кононенко // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2004. – №8. – С. 23–25.
6. Мартынов В.К., Кудрявцев М.С., Зайцев Н.М. и др. К вопросу о переносе результатов моделирования выпуска руды на натуре // Разраб. рудн. месторождений. – К.: Техніка. – 1970. – Вып. 10. – С. 13.
7. Ржевский В.В. Физико-технические параметры горных пород. – М.: Наука, 1975.
8. Насонов И.Д. Моделирование горных процессов. – М.: Недра, 1978. – 256 с.
9. Изучение проявлений горного давления на моделях / Г.Н.Кузнецов, М.Н.Будько, А.А.Филиппова, М.Ф.Шклярский. – М.: Углетехиздат, 1959. – 283 с.
10. Кирпичев М.В. Моделирование тепловых устройств. – М.: Изв. ЭННИН АН СССР, т. 1. – 1933.
11. Кирпичев М.В. Теория подобия. – М.: Академия Наук СССР, 1953. – 95 с.
12. Куликов В.В. Выпуск руды. – М.: Недра, 1980. – 303 с.
13. Малахов Г.М., Безух В.Р., Петренко П.Д. Теория и практика обрушенной руды. – М.: Недра, 1968. – 311 с.
14. Корж В.А. Эквивалентные параметры кусков обрушенной руды в блоке// Разраб. рудн. месторождений. – Кривий Ріг: КТУ, 1996. – № 59. – С. 52-59.
15. Письменный С.В., Томашевський О.Б. Моделювання стійкої форми очисної камери при розробці магнетитових кварцитів Криворізького залізрудного басейну// Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2015 – Вип. 40. – С. 98-104.
16. Математичне моделювання напружено-деформованого стану гірського масиву навколо очисних камер / М.І. Ступнік, В.О. Калініченко, О.В. Калініченко, І.О. Музика, М.Б. Федько, С.В. Письменний// Збірник наукових праць Науково-дослідного гірничорудного інституту Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет». Кривий Ріг. – 2015. – № 54. – С.22.
17. Інформаційні технології – складова процесів моніторингу та керування напружено-деформованим станом масиву / М.І. Ступнік, В.О. Калініченко, С.В. Письменний, О.В. Калініченко, І.О. Музика, М.Б. Федько // Сб. наукових трудов "Школа підземної розробки". – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – С. 132-138.

Рукопис подано до редакції 12.04.2018

П.Й. ФЕДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., А.В. ПЕРЕМЕТЧИК, канд. техн. наук, доц.,
Т.О. ПОДОЙНИЦИНА, ст. викл.,
Криворізький національний університет

ГЕОМЕТРИЗАЦІЯ ТА ПІДРАХУНОК ЗАПАСІВ ЗАЛІЗОРУДНИХ РОДОВИЩ

Мета. У статті розглянуто методику геометризації залізрудних родовищ шляхом розробки гірничо-геометричного методу підрахунку їх запасів для забезпечення раціонального ведення гірничо-видобувних робіт на основі аналізу та удосконалення існуючих методів підрахунку запасів корисних копалин.

Методи дослідження. В основу методики дослідження було покладено геометризацію родовищ корисних копалин та створення геометричної моделі родовища. Для створення геометричної моделі покладу, крім основних дисциплін геологічного і гірничого циклу, необхідно знати проєкції, застосовувані при геометризації родовищ. На основі теоретичних уявлень були розвинені графічні способи побудови моделі, розроблені методи геометризації різних показників родовища. Для вирішення поставлених завдань застосовувався цілий ряд методів, що включають проведення теоретичних досліджень, лабораторні та промислові експерименти.

Наукова новизна. Розроблено методику підрахунку запасів залізрудних родовищ корисних копалин на основі аналізу та удосконалення існуючих методів підрахунку запасів корисних копалин. В основу аналізу властивостей корисних копалин покладено інформаційний та гірничо-геометричний аналіз родовища, що дозволяє обрати оптимальну методику підрахунку запасів.

Практичне значення. Розглянуто основні методики оцінки гірничо-геометричних та геологічних даних при підрахунку запасів залізрудних родовищ корисних копалин і дана їх характеристика, що дозволяє класифікувати родовища або їх, планувати і управляти розвідувальними та гірничими роботами. Особливо важливим застосуванням геометризації родовищ залізрудних корисних копалин є підрахунок їх запасів для вирішення завдань перспективного та поточного планування з тим, щоб налагодити з максимальною ефективністю роботу гірничодобувного підприємства.

Результати. Обрана оптимальна методика оцінки в умовах криворізьких залізрудних родовищ. Для підрахунку запасів залізрудного родовища був обраний автоматизований метод підрахунку об'ємів корисних копалин і розкритих порід з використанням ГІС K-Mine. ГІС K-Mine містить велику кількість підпрограм для виконання вказаних обчислень. Модуль дозволяє виконувати розрахунки об'ємів різними методами (метод погоризонтних планів, метод поперечних розрізів, модифікований метод поперечних розрізів з використанням триангуляційних мереж тощо).

Ключові слова: геометризація, методи підрахунку запасів, гірничо-геометричний метод, модель родовища, підрахунок запасів, перспективне та поточне планування.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-62-65

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Найважливішим чинником, що впливає на ефективність роботи гірничодобувного підприємства, є міра забезпеченості підготовленими і готовими до виїмки запасами руд. Недостатня кількість цих запасів призводить до скорочення фронту робіт здобичі, зниження якості і підвищення собівартості продукції. Але у свою чергу надмірна забезпеченість руди приводить збільшенню витрат на зміст і ремонт гірських виробок. Тому дуже важливо використати оптимальні методи управління запасами. Підрахунок запасів корисної копалини включає наступні операції: оконтурення родовища, розділення запасів по народногосподарському значенню, міри розвіданої, заляганню, якості руд і умовам їх здобичі, виділення підрахункових блоків по потужності, змісту і іншим значенням, визначення середніх значень параметрів і кількісний підрахунок запасів по кожному виділеному блоку.

Аналіз досліджень і публікацій. Розробку конкретної методики геометризації залізрудних родовищ розпочато в 30-х роках роботами, які проводилися під керівництвом проф. П.К. Соболевського і були продовжені дослідниками в різних аспектах аж до наших днів. Великий внесок у розробку сучасних уявлень про геометризації і моделюванні різних типів родовищ внесли доктора технічних наук, професори: В.А. Букринский, Г.І. Вилесов, В.М. Гудков, В.В. Ершов, П.А. Рыжов, М.С. Четверик, М.Г. Новожилов, А.П. Рылов, І.Н. Ушаков, І.В. Францкий, Л.І. Четвериков, А.Г. Ивахненко та ін.

Нині, найчастіше, гірничодобувні підприємства, для підрахунку запасів твердих корисних копалин, використовують такі методи: спосіб вертикальних та горизонтальних перерізів або автоматизований спосіб підрахунку запасів. Але також існує ще безліч методів, такі як: середнього арифметичного, геологічних блоків, експлуатаційних блоків, багатокутників, трикутників, ізоліній, ізогіпс, середнього кута падіння, ділянок однакових кутів падіння, тощо.

Постановка задачі. Метод паралельних перерізів найбільш поширений при підрахунку запасів рудних родовищ, оскільки переважно вони відрізняються дуже мінливою морфологією і дуже нерівномірним розподілом зруденіння. При цьому способі тіло корисної копалини розбивається на ряд блоків, розташованих між паралельними лініями розвідувальної мережі.

Залежно від мережі геологорозвідувальних або експлуатаційно-розвідувальних робіт перерізу, що застосовувалася, можуть бути вертикальними або горизонтальними. Наприклад, якщо родовище розвідувалось профілями вертикальних або похилих свердловин, підрахунок методів вертикальних перерізів забезпечує якнайповніше і безпосереднє використання усіх отриманих при бурінні даних.

Для застосування в даному випадку методу горизонтальних перерізів необхідно усереднювати ці свердловини і проектувати їх у вигляді окремих точок на площині перерізу, що ускладнює підрахунок і неминуче знижує його достовірність. Навпаки, за наявності ряду поверхів гірських виробок з підземними горизонтальними свердловинами доцільніше підрахунок вести горизонтальними перерізами.

Викладення матеріалу та результати. Величезною перевагою методу паралельних перерізів є та обставина, що він дозволяє чітко відбити геологічні особливості родовища: морфологію тіл корисних копалини, розподіл окремих типів і сортів руд, характер зміни мінералізації по падінню, простяганню і потужності. Цей метод дає можливість підраховувати запаси при украй складних контурах покладів, наявності рудних або нерудних слоїв.

По кожному перерізу визначається площа рудного тіла (розбиттям на окремі фігури або планіметром). Залежно від форми і відносних розмірів площ в сусідніх перерізах об'єми блоків обчислюються по формулах піраміди, усіченої піраміди, конуса, клину і так далі. Середній зміст корисних компонентів по перерізах визначається як середньозважені по рудних інтервалах окремих виробок. При нерівномірній мережі свердловини, пробурені з меншим інтервалом між собою спотворюватимуть ситуацію по перерізу в цілому), а середній зміст по блоку, - як середньозважене по рудних площах в перерізах. Останні не завжди строго паралельні один одному і при великих відхиленнях необхідно вносити відповідні поправки у визначувані рудні площі і об'єми блоків.

Відносно розмірів блоків слід керуватися приведеними вище даними. Переважно блоки виділяються між двома профілями, але при густій мережі розвідувальних виробок у ряді випадків можливе включення у блок декількох перерізів.

При великій протяжності тіл корисних копалини по падінню блоки, що утворюються двома перерізами, виявляються надмірно великими і їх доцільно розбити на декілька самостійних блоків, особливо в тих випадках, коли виявляються зміни по вертикалі в характері розподілу корисної копалини або в його морфології. Вживаний для підрахунку запасів розсіпів так званий лінійний метод при опорі блоків на дві розвідувальні лінії практично не відрізняється від методу вертикальних паралельних перерізів.

Слід відзначити, що названі способи не вичерпують всіх можливих способів підрахунку запасів. Тому в практиці підрахунку запасів не виключена можливість застосування поряд з названими інших способів, або їх комбінацій.

Більшість покладів корисних копалин обмежена складними поверхнями.

Точне відтворення і визначення їх за даними розвідки неможливе. Тому всі способи підра-

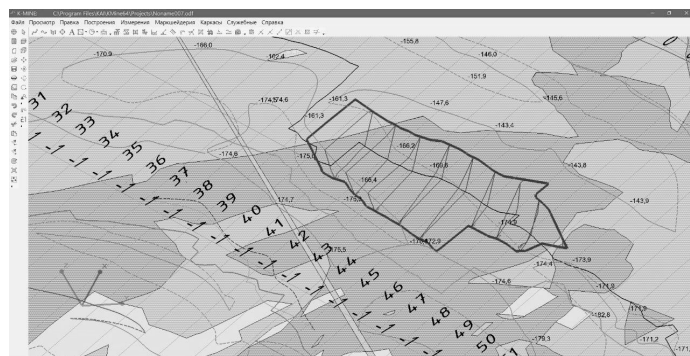


Рис 1. Спосіб вертикальних розрізів за допомогою ГІС-технології K-mine

хунку запасів, які спираються на матеріали розвідки, ґрунтуються на принципі трансформації складних тіл в простіші, в межах яких і проводиться підрахунок запасів.

Автоматизований спосіб підрахунку об'ємів корисних копалини і розкривних порід з використанням ГІС K-Mine містить велику кількість підпрограм для виконання вказаних обчислень. Модуль дозволяє виконувати розрахунки об'ємів різними методами (метод погоризонтних планів, метод

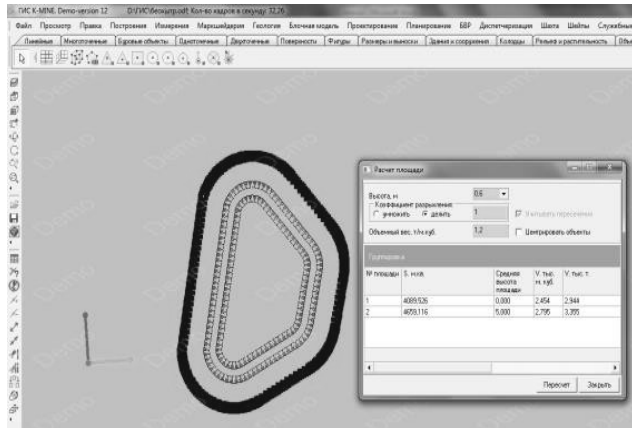


Рис. 2. Розрахунок об'ємів методом площ

можуть знаходитися в декількох різних шарах, уступах і мають складний профіль розрізу.

Особливістю розрахунку об'ємів цим способом в ГІС К-Mine являється те, що на первинному етапі виконується побудова двох триангуляційних поверхонь для нового і старого положень уступу, які мають в якості лінії розділення, - контур розрахунку.

Триангуляційні поверхні будуються на підставі даних усіх об'єктів, що входять в кожну категорію шарів (положень).

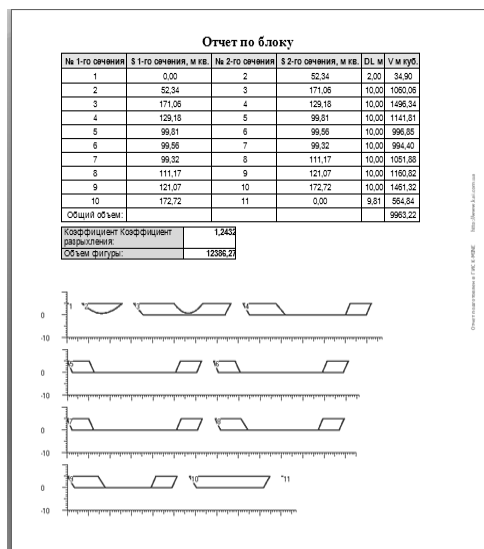


Рис. 3. Звіт по блоку

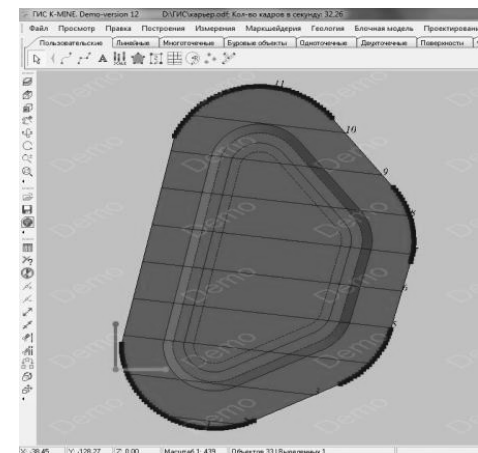


Рис. 4. Каркас кар'єру, лінії перерізів і їх номери

поперечних розрізів, модифікований метод поперечних розрізів з використанням триангуляційних мереж і тому подібне).

При розрахунку об'ємів методом площ і середньої висоти виконується розрахунок об'єму площ основи, а також середньої висоти вийманого шару, що задається користувачем. При розрахунку виконується контроль об'ємів між виїмкою і насипом, усереднювання висоти виконується по усій площі (рис. 2).

Розрахунок об'ємів методом вертикальних перерізів використовується для розрахунку об'ємів складних блокових фігур, що складаються з об'єктів різного типу, які

Далі по триангуляційних поверхнях виконується операція перетину їх з вертикальними площинами і визначення контурів фігур, що описують ці перерізи. Надалі рішення задачі зводиться до рішення стандартної задачі підрахунку об'ємів методом поперечних розрізів.

При цьому формується пакет звітної документації по розрахунковій фігурі і виконуються усі необхідні побудови (побудова перерізів в 3d і їх нумерація). Звіт містить розрахункову таблицю з показниками розрахунку площ по кожному перерізу, а також графічною представлення кожного розрізу в заданому масштабі (рис. 3).

Після закриття редактора перед друкарською підготовки в робочій зоні екрану викреслюються об'єкти (каркаси, лінії перерізів і їх номери), по яких формувався звіт (рис. 4).

Висновки та напрямок подальших досліджень.

ГІС-технології К-Mine дозволяють робити оперативну оцінку об'ємів гірських робіт при проектуванні і моделюванні гірських робіт.

У роботі було удосконалено методу геометризації залізородних родовищ шляхом розробки гірничо-геометричного методу підрахунку їх запасів для забезпечення раціонального ведення гірничо-видобувних робіт на основі аналізу та удосконалення існуючих методів підрахунку запасів корисних копалин.

Висока ефективність підрахунку запасів корисних копалин забезпечується використанням гірничо-геометричної моделі родовища.

Особливо важливим застосуванням геометризації родовищ залізородних корисних копалин є підрахунок їх запасів для вирішення завдань перспективного та поточного планування з тим, щоб налагодити з макси-

мальною ефективністю роботи гірничодобувного підприємства.

У роботі були розглянуті існуючі способи підрахунку запасів корисних копалин. Для підрахунку запасів залізорудного родовища був обраний автоматизований метод підрахунку об'ємів корисних копалини і розкривних порід з використанням ГІС K-Mine. ГІС K-Mine містить велику кількість підпрограм для виконання вказаних обчислень. Модуль дозволяє виконувати розрахунки об'ємів різними методами (метод погоризонтних планів, метод поперечних розрізів, модифікований метод поперечних розрізів з використанням триангуляційних мереж і тому подібне).

Таким чином, ГІС-технології K-Mine дозволяють робити оперативну оцінку об'ємів гірських робіт при проектуванні і моделюванні гірських робіт

Список літератури

1. Букринский В.А. Геометрия недр: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985.
2. Давид М. Геоestatистические методы при оценке запасов руд. – Л.: Недра, 1980.
3. Калинин В.М. Многомерная геометрия форм и качественных свойств месторождений // Маркшейдерское дело и геодезия. Межвузовский сборник. – 1979. – вып. 6. – с. 99-105.
4. Крамбейн У., Грейбилл Ф. Статистические модели в геологии. – М.: Мир. – 1969. – 400 с.
5. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. – М.: Мир, 1982.
6. Низгурецкий З.Д. К приложению теории нестационарных случайных функций для оценки результатов геометризации месторождений. – Л.: изд. ВНИМИ. – 1974. – Сб. № 93. – С. 99–113.
7. Переметчик А.В. Разработка эвристического алгоритма прогнозирования геологических показателей месторождений полезных ископаемых // Разработка рудных месторождений: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Кривой Рог: КТУ. – 2004. – Вып. 85 – С. 194 – 200.
8. Сидоренко В.Д., Федоренко П.И., Шолох М.В., Переметчик А.В., Подойницина Т.О. Геометризация родовищ корисних копалин. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком «Гірництво». – Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2008. – 367 с.
9. Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницина Т.А. Аспекты математической и горно-геометрической обработки данных качественной оценки железорудных месторождений // Качество минерального сырья: Сб. научных трудов. – Кривой Рог: ГВУЗ «КНУ», 2018. – С. 271 – 282.
10. Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницина Т.А. Информационно-статистический и горно-геометрический анализ размещения показателей месторождения // Вісник Криворізького національного університету: збірник наук. праць. – Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2018. – Вип. 46. – С. 75-81.
11. Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницина Т.А. Прогнозирование и много-факторная геометризация качественных показателей железорудных месторождений на основе эвристических методов // Вісник Криворізького національного університету: збірник наук. праць. – Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2016. – Вип. 41. – С. 165-170.
12. Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницина Т.А. Геометризация качественных показателей месторождений и распределение пространственных переменных // Вісник Криворізького національного університету: збірник наук. праць. – Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2017. – Вип. 45. – С. 70-77.
13. Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницина Т.А. Геометризация показателей качества и планирование добычи железорудных месторождений // Гірничий вісник: Респ. міжгалузевий науково-техн. сб. – Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», – 2014. – Вып. 97 – С. 111 – 114.
14. Krige D.G. A review of development of geostatistics in South Africa // In: Advanced Geostatistics in the Mining Industry. Reidel, Dordrecht, Netherlands. 1976. P. 279-294.
15. Matheron G. Kriging or polynomial interpolation procedures. – CIMM Trans., 70. 1967. P. 240-244.
16. Matheron G. The intrinsic random functions and their applications. – Adv. Appl. Prob., 5. 1973. P. 439-468.

Рукопис подано до редакції 04.04.18

УДК 624.137

Р. А. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук, проф., Д. А. КРИШКО, канд. техн. наук, ст. преподаватель,
В. О. САВЕНКО, аспирант
Криворожский национальный университет

РАСЧЕТ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ СО СТРУКТУРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ С УЧЕТОМ ЕЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ С ГРУНТОМ

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.

Методы исследования. При небольших нагрузках грунт переходит в упругопластическое состояние, поэтому в расчетах необходимо учитывать этот фактор. Используется теория пластического течения с упрочнением, так как деформационные теории при сложном нагружении неприменимы. В такой постановке рассматриваемая здесь задача исследуется впервые. Интерес представляет расчет подпорных стен со структурной поверхностью с учетом ее совместной работы с грунтом. Существующие конструкции подпорных стен не рассчитаны на дополнительные усилия от горизонтального движения грунта, который вызывает концентрацию напряжений в нижней части лицевой плиты, что соответственно приводит к разрушению конструкции. В качестве исследуемой стены принята подпорной стена со структурной поверхностью, а именно монолитная подпорная стена уголкового типа, которая имеет вертикальный и горизонтальный элементы на поверхности, которых с контактной стороны, размещены опорные части и пустоты в виде усеченных пирамид одинакового размера и направленных меньшим основанием вглубь вертикального и фундаментного элементов. Расчет подпорной стены со структурной поверхностью выполнялся в соответствии с действующими нормативными документами, расчетное сопротивление грунта определялось как для длительно нагруженного основания.

Научная новизна. Разработка новых конструктивных решений подпорных стен способных воспринимать дополнительное воздействие от неравномерно деформируемого основания.

Практическая значимость. Выполненные расчеты позволят изучить процесс контактного взаимодействия подпорной стены и деформируемого основания, а также провести математическое моделирование их совместной работы.

Результаты. Результаты расчетов указывают на то, что в подпорной стене со структурной поверхностью идет снижение усилий (изгибающий момент, поперечная сила) в ее элементах.

Ключевые слова: подпорные стены со структурной поверхностью; расчет подпорных стен; расчетные усилия, сопротивление грунта.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-65-71

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. 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. Экспериментальные исследования показали, что напряженно-деформированное состояние основания во многом определяется характеристиками конструкции условиями работы и нагружения [1]. В связи с этим возникает необходимость в разработке новых конструктивных решений подпорных стен способных воспринимать дополнительное воздействие от неравномерно деформируемого основания.

Известно, что даже при небольших нагрузках грунт переходит в упругопластическое состояние, поэтому в расчетах необходимо учитывать этот фактор. Используется теория пластического течения с упрочнением, так как деформационные теории при сложном нагружении неприменимы [2]. В такой постановке рассматриваемая здесь задача исследуется впервые. Интерес представляет расчет подпорных стен со структурной поверхностью с учетом ее совместной работы с грунтом.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время данная проблема актуальна для подрабатываемых территорий и для просадочных грунтов, т.к. при сложных деформациях основания не всегда можно реализовать имеющиеся технические решения в виду их неприспособленности к условиям работы. Существующие конструкции подпорных стен не рассчитаны на дополнительные усилия от горизонтального сдвижения грунта, который вызывает концентрацию напряжений в нижней части лицевой плиты, что соответственно приводит к разрушению конструкции.

Статическому расчету подпорных стенок посвящено значительное количество исследований [3, 4]. Количество работ по динамике этих сооружений, особенно с учетом упругопластических свойств их материалов, значительно меньше [5, 6]. Обычно, динамические расчеты выполняются, если на сооружение действуют импульсные, вибрационные или подвижные нагрузки [7].

Многие ученые посвятили свои работы вопросу определения бокового давления грунта на гибкие подпорные стенки с учетом их совместной работы с грунтовым массивом. Так, В.Ф. Раюк [8, 9] исследовал характер и величину бокового давления на вертикальную грань подпорной стенки с учетом ее деформаций и смещения, используя при этом модель линейно-деформируемой четвертьплоскости, но он не рассматривал совместную работу вертикальной стенки и фундамента как единой системы, взаимодействующей с грунтом. Е.И. Чернышева [10] исследовала вопрос о влиянии гибкости вертикальной стенки на величину бокового давления

грунта. И.Я.Лучковский [11], используя метод суперпозиций, дает решение по определению бокового давления грунта на подпорные стенки от узких нагрузок и сосредоточенной силы. Он обращает внимание на затухание с глубиной бокового давления грунта от пригрузки. Однако и эти авторы при определении бокового давления не учитывали совместную работу вертикальной стенки и фундамента как единой системы, взаимодействующей с грунтом. И.А. Симвулиди [12] рассчитывает гибкую подпорную стенку с учетом взаимодействия всех ее элементов с грунтом, но в качестве модели грунта, как засыпки, так и основания вводит линейно-деформируемую полуплоскость, что не совсем корректно. Кроме того, этот метод не позволяет учитывать влияние пригрузки на НДС системы. Таким образом, для оценки НДС гибких подпорных стенок уголкового профиля необходим учет совместной работы всей стенки с грунтом и применение более обоснованных моделей грунта в районе ее вертикального и горизонтального элементов.

Постановка задачи. Целью исследований является выполнение расчета подпорной стены со структурной поверхностью с учетом ее совместной работы с грунтом, для изучения их контактного взаимодействия и проведение сравнения результатов расчетов обычной подпорной стены уголкового типа и подпорной стены со структурной поверхностью.

Изложение материала и результаты. Расчет подпорной стены со структурной поверхностью выполнялся в соответствии с действующими нормативными документами [13, 14].

Объектом исследования является ПССП, а именно монолитная подпорная стена уголкового типа (рис. 1), которая имеет вертикальный и горизонтальный элементы на поверхности, которых с контактной стороны, размещены опорные части и пустоты в виде усеченных пирамид одинакового размера и направленных меньшим основанием вглубь вертикального и фундаментного элементов [5].

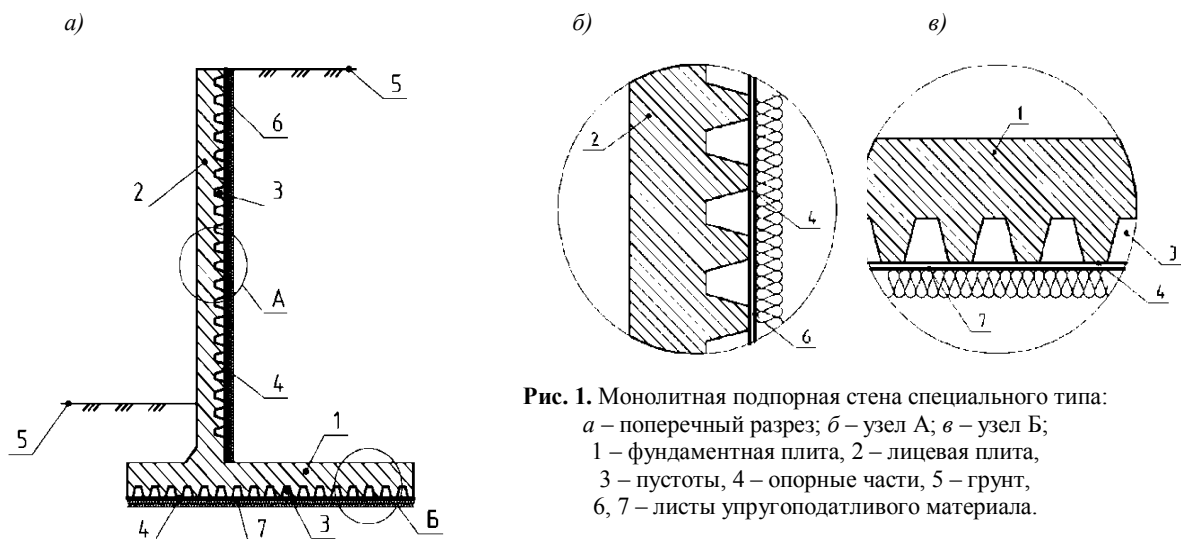


Рис. 1. Монолитная подпорная стена специального типа:
a – поперечный разрез; *б* – узел А; *в* – узел Б;
 1 – фундаментная плита, 2 – лицевая плита,
 3 – пустоты, 4 – опорные части, 5 – грунт,
 6, 7 – листы упругоподатливого материала.

Монолитная подпорная стенка уголкового типа состоит из фундаментной плиты 1, которая имеет пустоты 3 и опорные части 4, которые расположены на подошве и вертикального элемента 2, который также имеет пустоты 3 и опорные части 4, которые расположены с тыльной стороны. Грунт 5 направленный в пустоты 3, которые имеют форму усеченных пирамид. Под подошвой фундаментной плиты и с тыльной стороны вертикального элемента расположены два листа упругоподатливого материала. С развитием деформирующей нагрузки во времени, то есть с вертикальными и горизонтальными перемещениями грунта по отношению к монолитной стене уголкового типа, после ее установки, происходит постепенное проникновения грунта 5 в пустоты 3. Преждевременное заполнение пустот предотвращается листами упругоподатливого материала 6, 7.

Исходные данные для расчета:

1. Характеристики грунта основания:

для первой группы предельных состояний: угол внутреннего трения – 22° , объемный вес – $17,85 \text{ Н/м}^3$, удельное сцепление – $19,51 \text{ кПа}$;

для второй группы предельных состояний: угол внутреннего трения – 20° , объемный вес – $1,78 \text{ Н/м}^3$, удельное сцепление – $19,51 \text{ кПа}$;

2. Проектная ситуация устройства подпорной стены:
 - схема опирания лицевой панели – консольная;
 - относительные отметки: верха подпорной стены – 4,5 м, подошвы – 1,5 м, грунта со стороны засыпки – 4,5 м, грунта со стороны лицевой панели – 1 м;
3. Нагрузки на грунте засыпки – равномерно распределенная 29,42 кПа;
4. Геометрия обычной подпорной стены приведена на (рис. 2), подпорной стены со структурной поверхностью на (рис. 3).

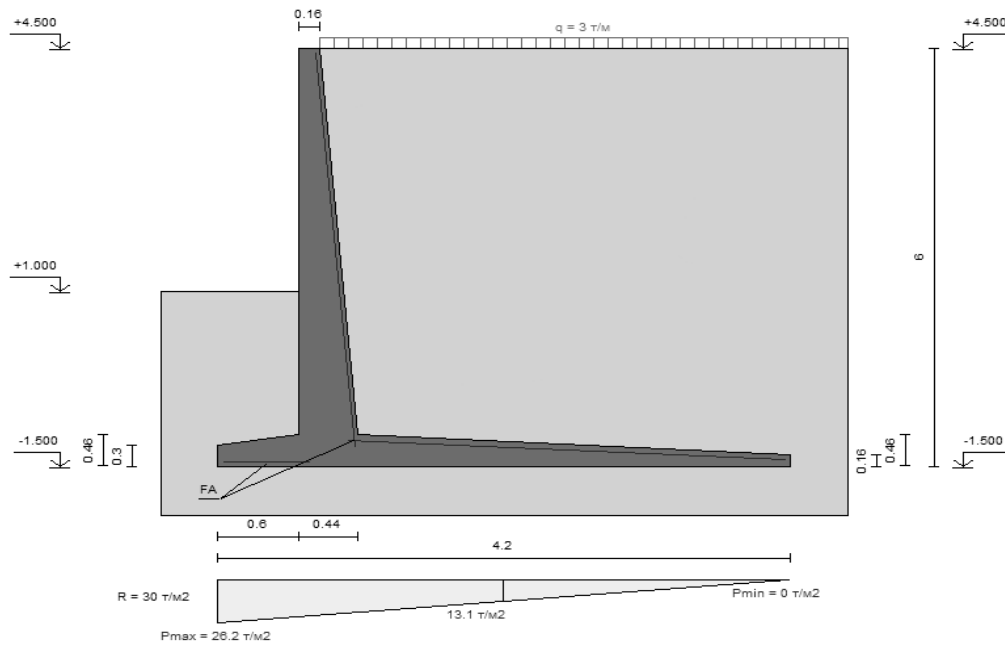


Рис. 2. Расчет обычной подпорной стены

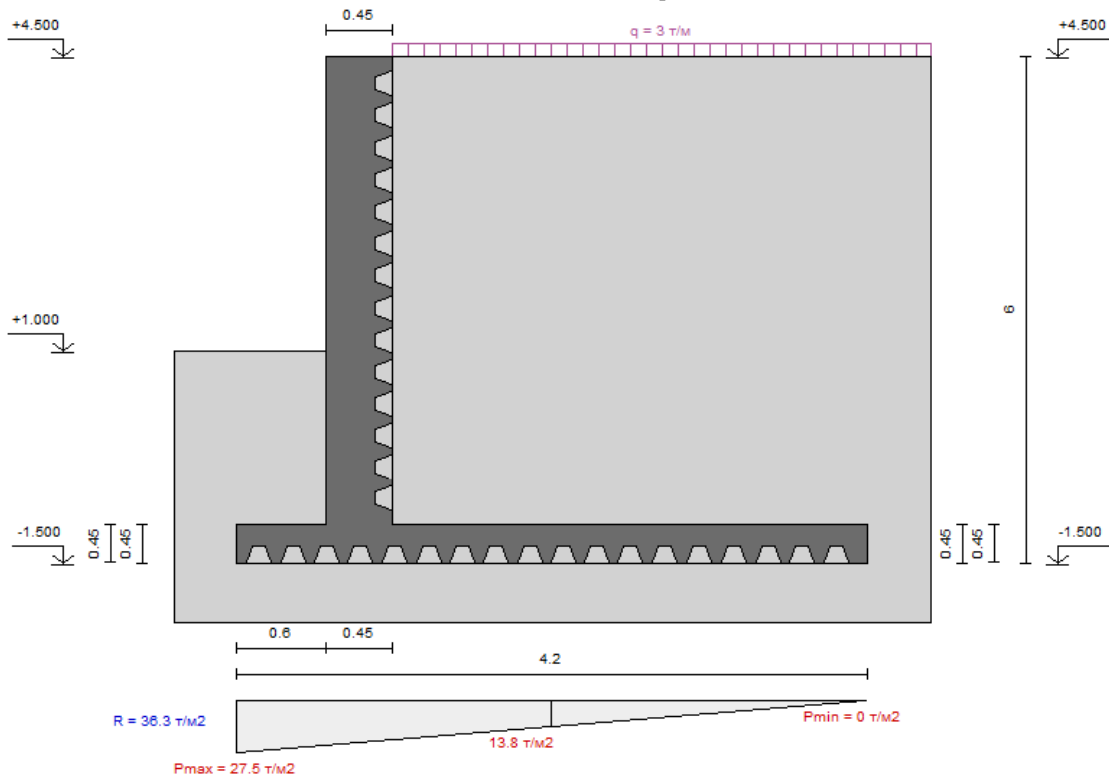
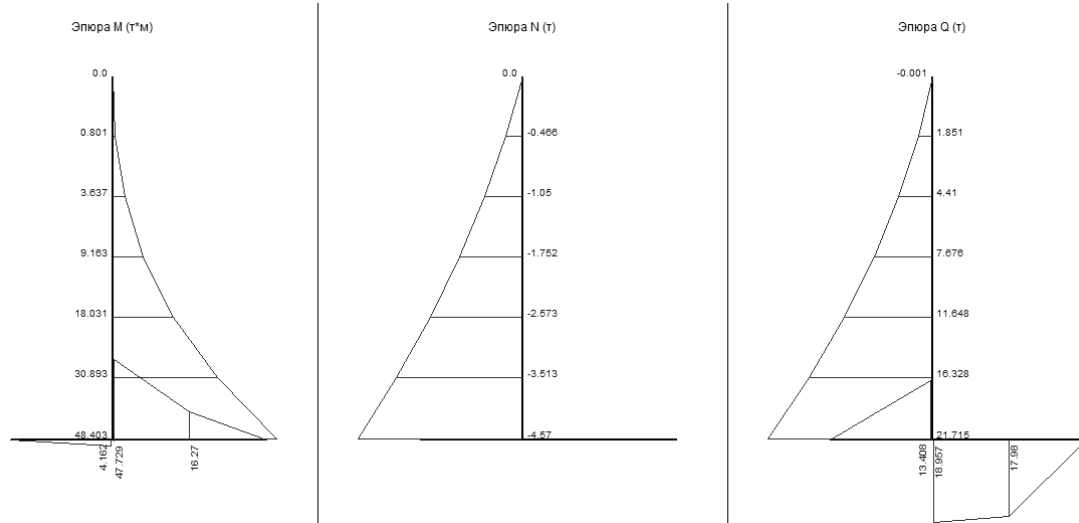


Рис. 3. Расчет подпорной стены со структурной поверхностью

Результаты расчета приведены на (рис. 4) для обычной подпорной стены и на (рис. 5) для подпорной стены со структурной поверхностью.

a)



б)

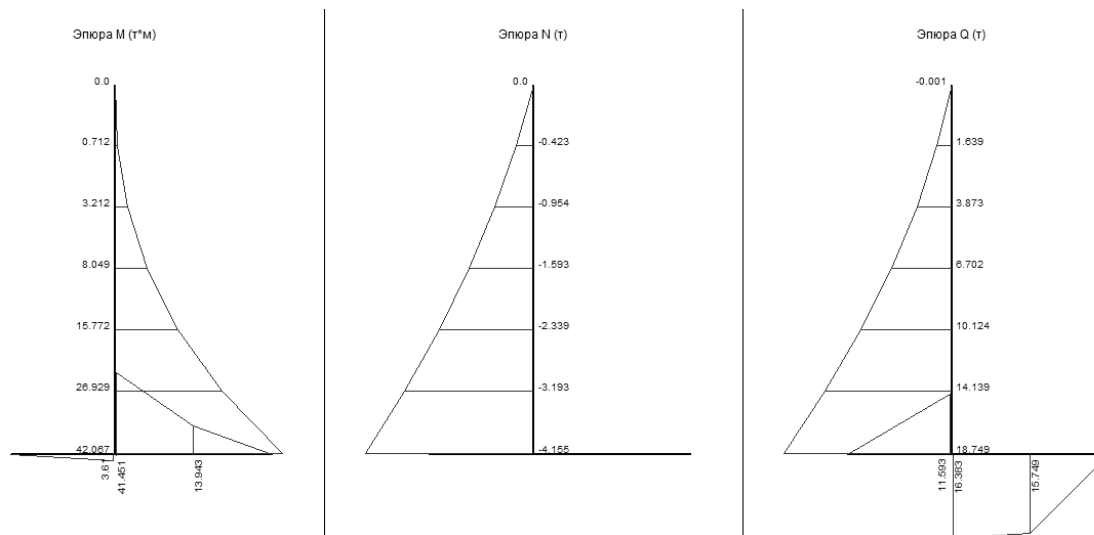
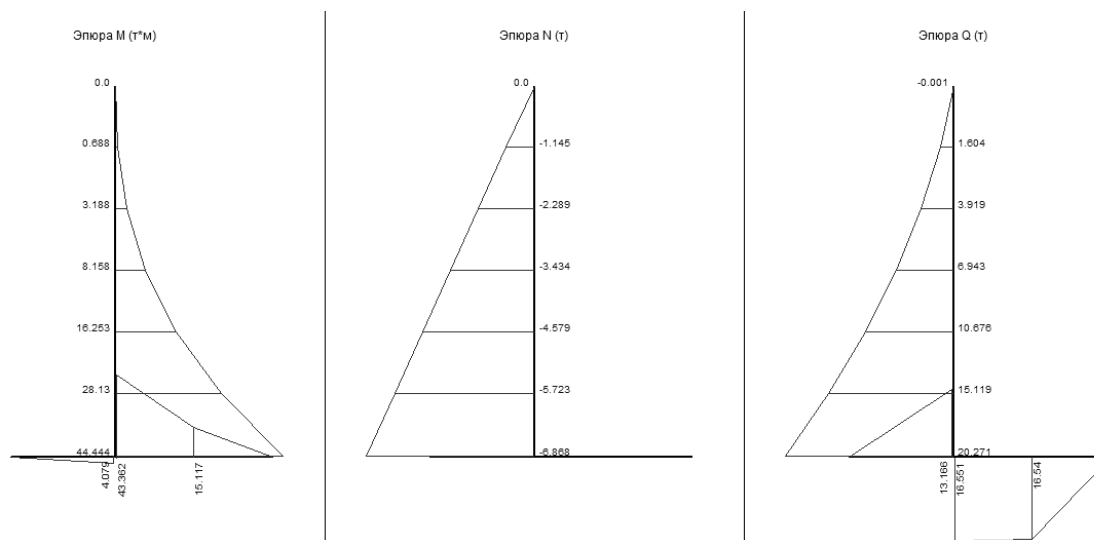


Рис. 4. Эпюры момента, отпора и поперечной силы обычной подпорной стены:
 а – по потере несущей способности; б – по непригодности к нормальной эксплуатации

a)



б)

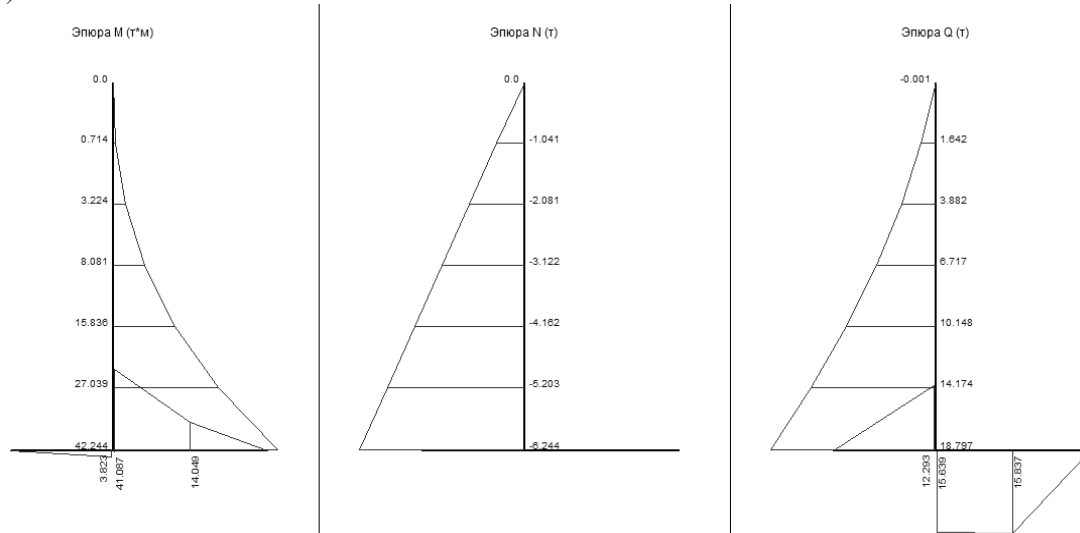


Рис. 5. Эпюры момента, отпора и поперечной силы подпорной стены со структурной поверхностью: а – по потере несущей способности; б – по непригодности к нормальной эксплуатации

Анализируя результаты расчета можно сделать следующие выводы: уменьшение изгибающего момента в элементах стены на 10%, а также поперечной силы на 7%.

Выводы и направление дальнейших исследований. Результаты расчета свидетельствуют о том, что структурная поверхность подпорной стены повышает несущую способность грунта за счет образования упругих ядер и разгружающих сводов. Это в свою очередь продлевает срок эксплуатации сооружения и позволяет получить экономический эффект.

Дальнейшие исследования направлены на расчет системы «основание – подпорная стена» методом конечных элементов с помощью программного комплекса «LIRA 9.6».

Список литературы

1. **Тімченко Р. О.** Напружено-деформований стан підірних стінок спеціального типу при складних деформаціях / **Р. О. Тімченко, О. Б. Настич, Д. А. Крішко, В. О. Савенко** // Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – Вип. 11. – С. 295-301.
2. **Ивлев Д. Д.** Теория упрочняющегося пластического тела // **Д. Д. Ивлев, Г. И. Быковцев.** – М.: Наука, 1971. – 231 с.
3. **Клейн Г. К.** Расчет подпорных стен // **Г. К. Клейн.** – М.: Высшая школа, 1964. – 196 с.
4. **Яковлев П. И.** Взаимодействие сооружений с грунтом // **П. И. Яковлев, А. Г. Бибичков, Д. А. Бибичков.** – М.: Недра, 1997. – 464 с.
5. **Гришин А. В.** Нелинейные динамические задачи расчета портовых гидротехнических сооружений // **А. В. Гришин, Е. Ю. Федорова.** – Одесса: ОГМУ, 2002. – 126 с.
6. **Гришин А. В.** Нелинейная динамика оградительных сооружений // **А. В. Гришин, Е. Ю. Федорова.** – Одесса: ОНМУ, 2002. – 240 с.
7. **Смирнов А. Ф.** Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений // **А. Ф. Смирнов.** – М.: Стройиздат, 1984, – 415 с.
8. **Раюк В. Ф.** Расчет давления грунта на подпорные стенки / **В. Ф. Раюк** // Речной транспорт. – К., 1965. – № 5. – С. 46-49.
9. **Раюк В. Ф.** Расчет бокового давления грунта на вертикальную грань подпорной стенки с учетом ее деформации и смещения / **В. Ф. Раюк** // Гидротехническое строительство. – К., 1968. – № 2. – С.35-40.
10. **Чернишова К. Й.** Результати дослідження розподілу тиску ґрунту на гнучкі підірні стінки / **К. Й. Чернишова** // Доповіді АН УРСР. – К.: Наукова думка. – 1964. – Вип. 12. – С. 1609-1613.
11. **Лучковский И. Я.** Взаимодействие конструкций с основанием / **И. Я. Лучковский** // Библиотека журнала ГТЕ. – Харьков: ХДАГХ. – 2000. – Т. 3. – 264 с.
12. **Симвулиди И. А.** Расчет инженерных конструкций на упругом основании // **И. А. Симвулиди.** – М.: Высш. шк., 1987. – 575 с.
13. **ДСТУ-Н Б В.2.1-31:2014.** Настанова з проектування підірних стін – К.: Мінрегіон України, 2015. – 86 с.
14. **ДСТУ Б В.3.1-2:2016.** Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 72 с.
15. **Пат. 62715.** Україна, МПК 7 E02D 29/02. Підірні стінка: 62715 Україна, МПК E02D 27/00 **Вілкул Ю.Г., Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Дмитрієва К.Ю., Бондар Ю.М.** (Україна). – № 2003054146; Заявл. 08.05.2003; Опубл. 15.12.2003, Бюл. № 12. – 5 с.

Рукопись поступила в редакцию 06.04.2018

ОСОБЛИВОСТІ КОРЕКЦІЇ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЬНИХ ДВИГУНІВ ІЗ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ЗА СТРУМОМ

Мета. Дослідження можливостей покращення статичних характеристик двофазного вентильного двигуна з зворотним зв'язком за фазними струмами, котрі формує його комутатор. Отримання аналітичних залежностей, що пов'язують передатні функції каналів датчика положення ротора з амплітудно – частотних, з амплітудно – фазовими характеристиками, а також параметрами схеми заміщення двигуна, залежності електромагнітного моменту вентильного двигуна від значення вагового коефіцієнта.

Методи дослідження. Досліджуються способи параметричної корекції, які покращують статичні характеристики досліджуваного вентильного двигуна. Вони слугували підґрунтям для одержання математичних залежностей, що описують можливості зменшення часу датчика положення ротора на порядок і спрощує будову і налаштування електронних вузлів.

Наукова новизна. Встановлено залежності електромагнітного моменту вентильного двигуна від значення вагового коефіцієнта та часу вентильного двигуна, що забезпечує спрощення будову і налаштування електронних вузлів. Розв'язання даного завдання складає актуальність даної роботи. Її метою є математичне моделювання передатних функцій фільтрів низької частоти, розрахунок сталих часу для фільтрів низької частоти, амплітудо – частотних та фазочастотних характеристик для вентильного двигуна.

Практична значимість. Практична цінність отриманих статичних характеристик вентильного двигуна полягає у можливості побудови набагато точніших систем на основі вентильних двигунів з істотним спрощенням електричних схем та налаштуванням відповідних ним електронним вузлам. В результаті чого зменшуються капітальні затрати на обслуговування даного вентильного двигуна та його системи керування, та збільшує економічну ефективність самого підприємства.

Результати. Отримані статичні характеристики вентильного двигуна можуть зменшити постійні часу фільтру низьких частот без збільшення відносної амплітуди пульсацій вихідної напруги датчика положення ротора та зменшення постійної часу датчика положення ротора майже на порядок.

Ключові слова: вентильний двигун зі зворотним зв'язком за фазними струмами, датчик положення ротора, синусно – косинусний обертовий трансформатор, фазочутливий випрямляч, фільтр низьких частот.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-71-76

Проблема та її зв'язок з практичними завданнями. Проблема корекції статичних характеристик електроприводів з ВД завжди була і є актуальним напрямком, котрий необхідно досліджувати як в цілому, так і в конкретних реалізаціях [1]. Достатньо ефективним методом корекції статичних характеристик є компенсаційний [2]. Особливо важливим це питання стає під час побудови компактної та енергоефективної системи з простою побудовою та налаштуванням [3]. При цьому існують проблеми, без вирішення котрих корекція статичних характеристик ВД не є ефективним.

Аналіз дослідження і публікацій. Дослідження корекції статичних характеристик ВД присвячена велика кількість публікацій. При цьому автори вивчали побудову ВД з зворотними зв'язками по фазним струмам та безперервним керуванням вентильних двигунів. Це, в свою чергу не дозволяє в повній мірі реалізувати просту схемну реалізацію та налаштування системи ВД з зворотним зв'язком за струмом.

Постановка завдання. Метою даної роботи є дослідження особливостей корекції статичних характеристик вентильних двигунів з зворотним зв'язком за струмом.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі: 1) отримання аналітичних залежностей, що пов'язують електромагнітний момент від вагового коефіцієнта; 2) виявлення граничних умов існування параметричної та компенсаційної корекцій, визначення оптимального часу перехідного процесу.

Викладення матеріалу та результати. Вентильні двигуни (ВД) з магнітоелектричним збудженням внаслідок малого числа фазних обмоток й дискретного характеру їх перемикавання мають нерівномірний електромагнітний момент [4], котрий ускладнює використання їх у слідкуючих системах й автоматизованих електроприводах з широким діапазоном регулювання кутової швидкості.

Найбільш ефективним й самим розповсюдженим способом підвищення електромагнітного моменту ВД є живлення його фазних обмоток струмами синусоїдної форми. Для їх завдання у ВД встановлюють синусно-косинусний датчик положення ротора (ДПР) [2–9, 11–15], за вихідними напругами котрого напівпровідниковим комутатором (НК) у ВД формуються фазні струму відповідної їм форми й амплітуди.

У якості таких ДПР у ВД найчастіше встановлюють безконтактні синусно – косинусні обертіві трансформатори (СКОТ) вбудованого виконання типу індуктивного редуктосина [2–4, 7, 8, 10] або револьвера [9, 11–15], виготовленого з однаковим числом пар полюсів.

Інші типи синусно-косинусних ДПР [8], принцип дії котрих заснований на гігантському магніторезистивному ефекті [13–15], у ВД мають поки що обмежене використання.

Для виділення огибаючих напруг СКОТ застосовують також пристрої вибірки – зберігання [3, 7], а для перетворення у цифровий код – спеціальні аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) [1] або АЦП мікроконтролерів [2, 9, 10]. Після їх оброблення за заданими алгоритмами мікроконтролером системи керування ВД вони перетворюються цифро-аналоговими перетворювачами (ЦАП) знову у гармонічні напруги.

Усі вказані пристрої працюють за принципом зчитування, тому внаслідок дискретизації по часу й квантування за рівнем вносять у надходячі з виходів ЦАП на входи комутаторів напруги й, відповідно у фазні струми ВД чисте запізнення й додаткові високочастотні складові [2, 7, 10, 15].

Зниження впливу цих негативних явищ досягається підвищенням розрядності й тактової частоти АЦП, ЦАП й мікроконтролера. Однак усе це не дає позитивних результатів, якщо надходячі на входи АЦП вихідні напруги ФЧВ не будуть попередньо згладжені ФНЧ. При відсутності ФНЧ частота зчитування вихідних напруг ФЧВ не перевищує $2f_0$, а квантування за рівнем буде малим тільки при дуже малій кутовій швидкості ВД [3, 7]. Тому ФНЧ є необхідними ланками ДПР на основі СКОТ.

Коефіцієнт передачі ВД як ланцюга його системи автоматичного керування (САК) залежить від кутової швидкості, що ускладнює налаштування її регуляторів, особливо при широкому діапазоні регулювання кутової швидкості ВД.

Зменшення негативного впливу інерційності електронних вузлів й фазних обмоток на статичні характеристики ВД з ДПР на основі СКОТ можливо 2 способами: компенсаційним; параметричним.

Компенсація фазних струмів ВД, викликано однією з постійних часу, наприклад, постійної часу фазних обмоток, може бути здійснена введенням в ВД блоку корекції, котрий складається з: тахогенератора й модулятора, до виходу котрого підключена квадратурна обмотка СКОТ [7, 10].

Іншим варіантом часткової компенсації впливу постійних часу ВД є введення у його САК контуру адаптивного керування з еталонною моделлю з сигнальним само налаштуванням [2].

Реалізація компенсаційних способів корекції статичних характеристик ВД ускладнює його конструкцію й налаштування електричної частини й тим самим звужує область його використання.

Параметричні способи корекції статичних характеристик ВД можуть бути не менш ефективні, ніж компенсаційні способи, й використовуватися як спільно з ним, так й самостійно.

Вони залежать від способу формування фазних струмів ВД і поєднують у собі раціональний вибір структури й параметрів ФНЧ з удосконаленням схемотехнічного виконання електричних вузлів електродвигуна.

У ВД з зворотним зв'язком по фазним струмам при неперервному способі їх формування, як показано у [11], постійні часу фазних обмоток не впливають на його статичні характеристики.

Тоді основною причиною запізнення фазних струмів ВД відносно ЕРС обертання будуть постійні часу ФНЧ синусно-косинусного ДПР й каналів комутатора.

Отримані вирази статичних характеристик ідеалізованого ВД з двофазною чотирьохсекційною обмоткою, з'єднаною зіркою зі спільним проводом, синусно-косинусним ДПР й комутатором, котрий здійснює зворотний зв'язок по фазним струмам, не враховуючи інерційність вказаних вузлів.

Застосовувані у синусно-косинусних ДПР фільтри – зазвичай першого чи другого порядку [2, 3], причому у останньому випадку ФНЧ може бути дволанковим.

Зробимо припущення, що його першою ланкою є безпосередньо що входить у ДПР ФНЧ, а другою ланкою – канал комутатора, виконаний за схемою аперіодичного ланцюга.

З урахуванням цього передатні функції каналів ДПР й комутатора будуть мати вид

$$W_{\text{дп}}(p) = \frac{K_{\text{дп}}}{T_{\text{дп}} p + 1}; \quad (1)$$

$$W_{\text{к}}(p) = \frac{K_{\text{к}}}{T_{\text{к}} p + 1}, \quad (2)$$

де $K_{\text{дп}}$ – коефіцієнт передачі ДПР при нерухомому роторі ВД; $T_{\text{дп}}$ – постійна часу ДПР; $K_{\text{к}}$ – коефіцієнт передачі комутатора при нерухомому роторі ВД; $T_{\text{к}}$ – постійна часу комутатора.

Передатні функції (1), (2) відповідають амплітудно-фазові характеристики

$$W_{\text{дп}}(j\omega_{\epsilon}) = k_{\text{дп}}(\omega_{\epsilon})^{-j\psi_{\text{дп}}(\omega_{\epsilon})}, \quad W_{\text{к}}(j\omega_{\epsilon}) = k_{\text{к}}(\omega_{\epsilon}); \quad (3)$$

$$W_{\text{к}}(j\omega_{\epsilon}) = k_{\text{к}}(\omega_{\epsilon})^{-j\psi_{\text{к}}(\omega_{\epsilon})}, \quad (4)$$

у котрих $k_{\text{дп}}(\omega)$, $k_{\text{к}}(\omega_{\epsilon})$ являють собою амплітудно-частотні, а $\psi_{\text{дп}}(\omega_{\epsilon})$, $\psi_{\text{к}}(\omega_{\epsilon})$ – фазочастотні характеристики розглянутих вузлів. Вони описуються виразами

$$k_{\text{дп}}(\omega_{\epsilon}) = \frac{K_{\text{дп}}}{\sqrt{1 + (\omega_{\epsilon} T_{\text{дп}})^2}}; \quad (5)$$

$$k_{\text{к}}(\omega_{\epsilon}) = \frac{K_{\text{к}}}{\sqrt{1 + (\omega_{\epsilon} T_{\text{к}})^2}}; \quad (6)$$

$$\psi_{\text{дп}}(\omega_{\epsilon}) = \arctg(\omega_{\epsilon} T_{\text{дп}}); \quad (7)$$

$$\psi_{\text{к}}(\omega_{\epsilon}) = \arctg(\omega_{\epsilon} T_{\text{к}}), \quad (8)$$

де $\omega_{\epsilon} = p_{\epsilon} \nu \omega_{\epsilon}$ – кутова частота фазних струмів; p_{ϵ} – число пар полюсів ВД; $\nu = \omega/\omega_0$ – відносна кутова швидкість ВД; ω_0 – кутова швидкість ВД; $\omega_0 = U_n/C_{\epsilon}$ – базове значення кутової швидкості ідеального холостого ходу; C_{ϵ} – конструкційна постійна ВД; U_n – напруга джерела живлення.

Із (1) – (8) випливає, що кут зсуву фаз струмів відносно ЕРС обертання ВД дорівнює

$$\psi(\omega_{\epsilon}) = \arctg(\omega_{\epsilon} T_{\text{дп}}) + \arctg(\omega_{\epsilon} T_{\text{к}}). \quad (9)$$

Коефіцієнт завантаження його по струму визначається із виразу

$$k_{mn}(\omega_{\epsilon}) = \frac{K_{mn}}{\sqrt{1 + (\omega_{\epsilon} T_{\text{дп}})^2 + \sqrt{1 + (\omega_{\epsilon} T_{\text{к}})^2}}}, \quad (10)$$

де $K_{m.n.} = I_{\text{сmax}}/I_{\text{сн}}$ – коефіцієнт завантаження ВД за струмом при нерухомому роторі; $I_{\text{сmax}} = K_{\text{дп}} K_{\text{к}} U_{\text{к}}$ – амплітуда секцій фазних обмоток; $U_{\text{к}}$ – напруга керування ВД; $I_{\text{сн}} = U_n/R_{\text{с}}$ – пусковий струм секції фазної обмотки; $R_{\text{с}}$ – активний опір секції фазної обмотки ВД.

Тоді струму у ввімкнених секціях фазних обмоток розглянутого ВД будуть змінюватися за наступними залежностями

$$i_{c1}(\alpha) = k_{mn}(\omega_{\epsilon}) I_{\text{сн}} \sin(\alpha - \psi(\omega_{\epsilon})); \quad (11)$$

$$i_{c2}(\alpha) = k_{mn}(\omega_{\epsilon}) I_{\text{сн}} \cos(\alpha - \psi(\omega_{\epsilon})). \quad (12)$$

При ЕРС обертання у цих секціях фазних обмоток ВД

$$E_{c1}(\alpha) = U_n \nu \sin(\alpha); \quad (13)$$

$$E_{c2}(\alpha) = U_n \nu \cos(\alpha), \quad (14)$$

де α – кут повороту ротору ВД (у електричних радіанах), відлічуваний від моменту природної комутації.

Виразу напруги на силових транзисторах комутатора, працюючих у активному режимі, визначаємо із рівнянь, складених за другим законом Кірхгофа для комутації секцій фазних обмоток ВД.

Вони мають вид

$$U_{mp1}(\alpha) = U_n [1 - v \sin(\alpha) - k_{mn}(\omega_c) \sin(\alpha - \psi(\omega_c))]; \quad (15)$$

$$U_{mp2}(\alpha) = U_n [1 - v \cos(\alpha) - k_{mn}(\omega_c) \cos(\alpha - \psi(\omega_c))]. \quad (16)$$

Підставивши (11)–(16) у відповідні базові вирази основних статичних характеристик ВД [11], отримуємо залежності його середнього електромагнітного моменту M_{cp} , споживаної потужності P_c , потужностей втрат у комутаторі ΔP_k і міді фазних обмоток ΔP_m , електромагнітного ККД ВД η й ККД комутатора η_k від постійних часу ФНЧ ДПР й комутатора

$$M_{cp} = \frac{U_n}{\omega_0} I_{cn} k_{mn}(\omega_c) \cos(\psi(\omega_c)); \quad (17)$$

$$P_n = \frac{4}{\pi} U_n I_{cn} k_{mn}(\omega_c); \quad (18)$$

$$\Delta P_k = \frac{4}{\pi} U_n I_{cn} k_{mn}(\omega_c) \left\{ 1 - \frac{\pi}{4} [k_{mn}(\omega_c) + v \cos(\omega_c)] \right\}; \quad (19)$$

$$\Delta P_m = U_n I_{cn} k_{mn}^2(\omega_c); \quad (20)$$

$$\eta = \frac{\pi}{4} v \cos(\omega_c); \quad (21)$$

$$\eta_k = \frac{\pi}{4} [v \cos(\omega_c) + k_{mn}(\omega_c)]. \quad (22)$$

Аналіз виразів (17)–(22) спільно с (9), (10) показує, що електромагнітний момент M_{cp} , ККД ВД η й ККД комутатора η_k зменшуються як із збільшенням T_{dnp} й T_k , так і кутової швидкості двигуна.

Це викликано не тільки впливом зсуву фаз струмів й ЕРС обертання ВД, але й зменшенням амплітуди фазних струмів.

Слідє відмітити, що на крутизну регульовальної характеристики й погіршення енергетичних показників ВД з ДПР на основі СКОТ впливають не тільки значення постійних часу T_{dnp} й $T_{\omega d}$, але й їх відношення.

Для вибору оптимального відношення цих постійних часу представимо їх у наступному вигляді

$$T_{dnp} = k_\phi T_{\omega d} \quad \text{та} \quad T_k = (1 - k_\phi) T_{\omega d}, \quad (23)$$

де $T_{\omega d} = T_{dnp} + T_k$; k_ϕ – ваговий коефіцієнт постійної часу ФНЧ ДПР.

Найбільш розповсюдженим рекомендованим способом зменшення постійної часу T_{dnp} є підвищення частоти напруги збудження СКОТ [2, 7].

Здавалося б, що зі збільшенням, зберігаючи постійною відносно амплітуду пульсацій вихідної напруги ФНЧ, постійну часу T_{dnp} можна пропорційно зменшити, однак на практиці маємо протилежний результат.

Було встановлено, що з підвищенням частоти напруги збудження f_z до 2 кГц й вище імпульси вихідних напруг СКОТ приймають вид затухаючих коливань. При чому характер комутаційного процесу зберігається навіть при нульовому положенні ротора. Природно, що при такій формі вихідного СКОТ будуть високі й пульсації вихідної напруги ФЧВ (рис.1). Необхідність їх згладжування і призводить до збільшення постійної часу T_{dnp} .

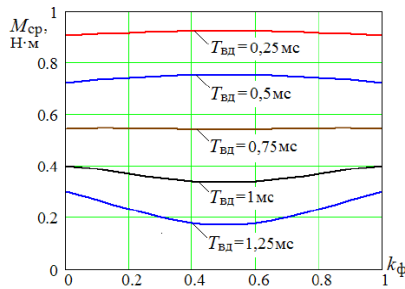


Рис.1. Залежності електромагнітного моменту ВД від значення вагового коефіцієнта k_ϕ при $v = 0,7$ і $K_{\sigma, \text{ст}} = 0,22$

Пошук причин виникнення коливальної складової у вихідній напрузі ФЧВ ґрунтувався на пропозиції, що ці коливання обумовлені його власною ємністю, утвореної ємнісними зв'язками між первинною й вторинною обмотками, а також між обмотками й магнітопроводом [12].

Для аналізу ступеню впливу власної ємності СКОТ на амплітуду додаткових пульсацій вихідної напруги можна скористатися його схемою заміщення, котра представлена на рис.2.

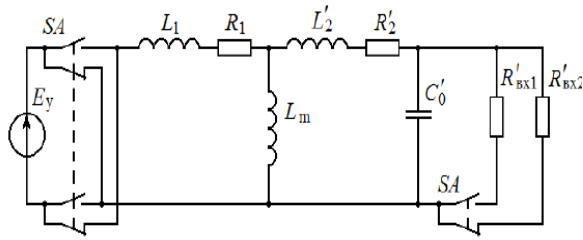


Рис.2 Схема заміщення СКОТ, навантаженого входним опором ФЧВ

Вона складена для положення ротора, при якому напруга на одній вторинній обмотці, наприклад, синусної, – максимально, а на косинусній – дорівнює нулю, і, відповідно, вплив її струму на режими роботи інших обмоток СКОТ – дуже малий. Параметри схеми заміщення СКВТ на рис. 2. позначені загальноприйнятими символами $R_1, L_1, R_2', L_2', L_m$.

До виходу схеми заміщення СКВТ підключена його власна ємність C_0' , в залежності від напівтакт комутації ФЧВ, його входний опір R'_{ex1} або R'_{ex2} , наведені до первинної обмотці. Двополярні імпульси напруги харчування СКВТ формуються перемиканням джерела ЕРС управління E_y вимикачем SA.

Схему заміщення СКВТ на рис. 2 можна перетворити в еквівалентну по відношенню до джерела ЕРС E_y схему, що складається з послідовно з'єднаних резистора R_e , котушки індуктивності L_e і конденсатора C_e . Характер вільної складової перехідного процесу в цій еквівалентній схемі і, відповідно, зміни вихідної напруги зміни вихідної напруги СКОТ після комутації джерела ЕРС E_y будуть визначатися коренями характеристичного рівняння

$$p^2 + \frac{R_e}{L_e} p + \frac{1}{L_e C_e} = 0, \quad (24)$$

котрі можуть бути дійсними або комплексно-спряженими.

Вид коренів характеристичного рівняння (24) залежить від співвідношення параметрів схеми заміщення СКОТ. З огляду на, що, як в звичайному трансформаторі, так і в СКОТ, для змінного опору гілки намагнічування виконуються умови $L_m \gg L_1, L_m \gg L_2', C_0' = \text{const}$, основним параметром, що визначають чим вид коренів рівняння (24), буде R_e . При незмінних R_1 і R_2' значення R_e буде залежати в основному від входних опорів R'_{ex1}, R'_{ex2} ФЧВ. Резистори R'_{ex1}, R'_{ex2} на схемі заміщення СКОТ підключаються паралельно ємності C_0' , тому R_e при збільшенні їх опорів зменшується, і при певному значенні R'_{ex1} перехідний процес при комутації напруги збудження СКОТ стає коливальним.

За допомогою схеми заміщення СКОТ можна пояснити і виникнення підйомів і провалів в вихідній напрузі ФЧВ, виконаного за типовою схемою [3]. З принципу роботи цього ФЧВ слід, що на кожному напівтакті перетворення вихідної напруги СКОТ його входні опору R'_{ex1}, R'_{ex2} мають різні значення, що відрізняються один від одного в 2–3 рази.

Це призводить до періодичного з частоти f_e зміни коефіцієнта завантаження СКОТ, наслідком якого є різний на кожному напівтакті падіння напруги на його обмотках і, природно, різний вихідна напруга ФЧВ. Тому для зменшення амплітуди пульсацій вихідної напруги ФЧВ і, відповідно, зменшення постійної часу T_{dnp} необхідно використовувати для демодуляції вихідних напруг СКВТ ФЧВ з однаковим на всіх напівтакті перетворення входним опором [5] і вибирати його таким, щоб комутаційний процес носив аперіодичний характер.

Експериментальна перевірка ефективності запропонованих параметричних способів корекції статичних характеристик ВД показала, що без збільшення відносної амплітуди пульсацій вихідної напруги ДПР на основі СКВТ типу ВТ 60 постійної часу його ФНЧ при $f_e = 2000$ Гц можуть бути зменшені до $T_{dnp} = 0,12$ мс, тобто майже на порядок. У зв'язку з цим можна знехтувати їх впливом на статичні характеристики ВД зі зворотним зв'язком по фазним струмів, що спростить будову і налаштування його електронних вузлів.

Висновки та напрямки подальших досліджень. У роботі виконано дослідження можливостей покращення статичних характеристик двофазного вентильного двигуна з зворотним зв'язком за фазними струмами, котрі формує його комутатор. Отримано аналітичні вирази для статичних характеристик вентильного двигуна, котрі дозволяють оцінити ступінь негативного впливу на них постійних часу фільтрів низьких частот й комутатора. Перевірено експериментально ефективні способи параметричної корекції, з покращенням статичних характеристик досліджуваного вентильного двигуна. Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості побудови набагато точніших систем на основі вентильних двигунів з істотним спро-

щенням електричних схем та налаштуванням відповідних ним електронним вузлам. Також відбувається спрощення електричної схеми, що тягне за собою спрощення у налаштуванні електронних вузлів у неї. Як наслідок збільшення надійності самого електрообладнання та зменшення капітальних витрат на його обслуговування. Що в свою чергу дозволяє збільшити економічний ефект від впровадження даної системи на металургійному підприємстві. збільшення рентабельності самого підприємства для закупки нового обладнання, або модернізації іншого наявного на ньому обладнання на більш енергозберігаюче за рахунок збільшення ККД, і т.д. Отже, було розроблено ряд рекомендацій, що можуть бути використані проектувальниками електромеханічних систем на основі вентильних двигунів. Перевірено експериментально ефективні способи параметричної корекції, з покращенням статичних характеристик досліджуваного вентильного двигуна.

Список літератури

1. Ануфрієв В., Лужбінін А., Шумилин С. Мікросхема перетворювача кут – код для індуктивних датчиків // Сучасна електроніка. 2015 рік, № 3. С. 2 – 5
2. О.З. Попков Основи перетворювальної техніки, учбовий посібник для вузів, – М. 2007 рік, – 200 с. іл.
3. Бєленький Ю. М., Зеленков Г. С., Мікєрена А. Г. Досвід розробки і застосування безконтактних моментних приводів. Л.: ЛДНТП, 1987 рік, 28 с.
4. Герман – Галкін С. Г. Matlab&Simulink. Проектування мехатронних систем на ПК. СПб.: КОРОНА – Век, 2008 рік, 368 с. іл.
5. Гутников В. С. Інтегральна електроніка в вимірювальних приладах. Л.: Енергія, 1980 рік, 248 с. іл.
6. Овчинников І. Е. Вентильні електричні двигуни і привід на їх основі (мала і середня потужність). СПб.: КОРОНА – Век, 2007 рік, 336 с. іл.
7. Практика приводної техніки. Сервоприводи [Електронний ресурс]. URL: <http://www.sew-eurodrive.ru/files/pdf/11322853.pdf>
8. Соловйов В. А. Вентильний двигун зі зворотним зв'язком по струмів фазних обмоток // Електрика. 1995 рік, № 1. с. 56 – 61
9. Стародубцев Ю. М. Теорія і розрахунок трансформаторів малої потужності. М., 2005 рік 320 с. іл.
10. Драчов Г. І. Теорія електроприводу: навчальний посібник – Челябинськ, ЮУрГУ, 2006 рік, частина 2 – 193 с. іл.
11. Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода, навчальний посібник, – К., Кондор, 2012 рік, – 408 с. іл.
12. Косулін В. Д, Михайлов Г. Б., Омельченко В. В., Путніков В. В. Вентильні електродвигуни малої потужності для промислових роботів. Л., Енергоатоміздат, 1988 рік, 184с. іл.
13. Боровіков М. А., Доманов В. І., Нашатиркін В. Е. Слідкуючий електропривод з обчислювачами координат по сигналам датчика положення ротора, Електрика, 1990 рік, №10, с. 76 – 80
14. Е. М. Овсяніков Електричний привід, М., Форум, 2011 рік, 224 с. іл.
15. Петухов С. В., Кришьяніс М. В. Електропривод промислових установок: навчальний посібник – Архангельськ: С (А)ФУ, 2015 рік. – 303 с. іл.

Рукопис подано до редакції 06.04.2018

УДК 622.27: 622.271.4

С.А. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., С.А. ЛУЦЕНКО, канд. техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НА ОТСТАВАНИЕ ВСКРЫШНЫХ РАБОТ В КАРЬЕРЕ

Цель. Усовершенствовать научно-методическую базу в области проектирования и планирования открытых горных работ путем разработки новых и корректировки существующих методов определения параметров системы разработки. Обосновать влияние метода определения ширины рабочей площадки, учитывающий ее взаимосвязь с длиной активного фронта горных работ и производительностью по руде на отставание по вскрыше.

Методы исследования. Исследование влияния параметров системы разработки на отставание вскрышных работ необходимо осуществлять с учетом взаимосвязи ширины рабочей площадки и длины фронта горных работ, которые обеспечивают норматив готовых к выемке запасов для принятой производительности карьера по руде. При этом взаимосвязь параметров системы разработки учитывается с помощью графических методов горно-геометрического анализа карьерного поля.

Научная новизна. Несоответствие фактической длины активного фронта горных работ длине фронта принятой при определении максимально возможной производительности карьера по руде и составлении перспективного кале-

ндарного плана горных работ без учета взаимосвязи ширины рабочей площадки и длины активного фронта горных работ, обеспечивающих норматив готовых к выемке запасов приводит к нарушению равенства скоростей перемещения руд-ных и нерудных уступов и соответственно к накоплению отставания вскрышных работ в карьере.

Практическая значимость. Результаты выполненных исследований могут быть использованы проектными органами-заявками и горнодобывающими предприятиями при определении производительности карьера по руде.

Результаты. Отставанием вскрышных работ в карьере необходимо считать недовыполнение объемов вскрыши, которые рассчитываются относительно положения горных работ в карьере, обеспечивающее норматив готовых к выемке запасов для заданной производительности карьера по руде, с учетом ее изменения на конец каждого года эксплуатации карьера.

Ключевые слова: открытые горные работы, производительность карьера по руде, режим горных работ, длина активного фронта горных работ, отставание вскрышных работ.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-76-81

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В процессе эксплуатации железорудных месторождений карьерами, соотношение объемов добычи руды и извлечения вскрышных пород определяется проектами их разработки, которые составляются в соответствии с нормами технологического проектирования [1]. Установленное соотношение определяет необходимые параметры системы разработки для эффективной и безопасной добычи полезных ископаемых [2]. Такая работа считается нормальной и определена требованием, формировать рабочую зону карьера с рабочими площадками, включающими нормативные запасы руды и вскрышных пород готовыми к выемке [3]. Размер резервной полосы и соответственно ширины рабочей площадки определяется продолжительностью периода, на который создаются готовые к выемке запасы и зависит от производительности карьера по руде и длины активного фронта горных работ [4].

Несоответствие фактических значений параметров системы разработки плановым приводит к нарушению законов развития карьерного пространства и как следствие этого неплановому накоплению отставания вскрышных работ [5].

Поэтому приступая к моделированию развития горных работ для заданной производительности карьера по руде в первую очередь необходимо определить значение ширины рабочей площадки и длины активного фронта горных работ, удовлетворяющих требованиям нормируемых запасов.

Анализ исследований и публикаций. В результате выполненного анализа научных публикаций было установлено, что в процессе определения ширины рабочей площадки при заданной производительности карьера по руде учитывается только длина активного фронта по руде и вскрышным породам на момент оценки [6,7]. При этом не учитывается влияние на нее изменения ширины рабочей площадки, которое заключается в том, что при увеличении ширины рабочей площадки длина фронта уменьшается [8,9].

Постановка задач. Цель настоящей работы – обосновать влияние метода определения ширины рабочей площадки, который учитывает ее взаимосвязь с длиной активного фронта горных работ и производительностью по руде на отставание по вскрыше.

Изложение основного материала. Для выполнения исследований был рассмотрен пример условного карьера разрабатывающего месторождение, которое подобно, по условиям залегания и технологии открытой разработки, мощным месторождениям бедных железистых кварцитов, отрабатываемым карьерами Кривбасса и выполнен горно-геометрический анализ карьерного поля при работе с различной шириной рабочей площадки.

На рис. 1 показано изменение длины активного фронта горных работ от изменения ширины рабочей площадки. Из рисунка видно, что при увеличении ширины рабочей площадки длина активного фронта горных работ в карьере уменьшается, при этом в каждом случае в работу вовлекается вся рабочая зона карьера.

Нормальная ширина рабочей площадки определяется по формуле [10]

$$B_H = B_{\min} + \frac{A_p \cdot \psi}{L_p \cdot h_y}, \text{ м}, \quad (1)$$

где B_{\min} – минимальная ширина рабочей площадки в карьере, м; A_p – производительность карьера по руде, м³/год; ψ – нормативный коэффициент готовых к выемке запасов руды (при полу-

торамесячном запасе руды этот коэффициент равен 0,125); L_p – длина активного рудного фронта в карьере, м; h_y – высота рудного уступа, м.

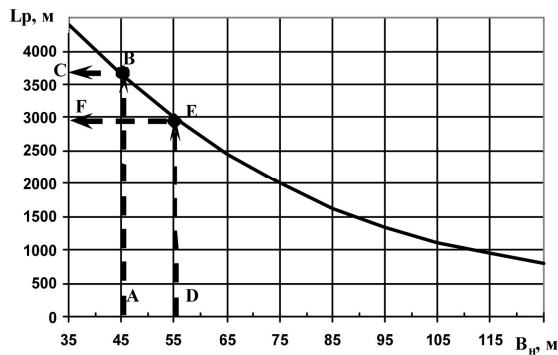


Рис. 1. Изменение длины активного фронта горных работ в зависимости от изменения ширины рабочей площадки

Как видно из формулы (1) ширина полосы готовых к выемке запасов (в данной формуле представлена вторым слагаемым) зависит от производительности карьера по руде и от длины активного фронта горных работ, и влияет на ширину рабочей площадки, т.е. ширина рабочей площадки зависит от производительности карьера по руде и длины активного фронта горных работ.

В том случае если принять $A_p = const$ и $h_y = const$, то ширина рабочей площадки будет зависеть от длины активного фронта горных работ $B_n = f(L_p)$. Однако, из рис. 1 видно, что длина активного фронта горных работ, в свою очередь, определяется шириной рабочей площадки $L_p = f(B_n)$. Это свидетельствует о том, что производительность карьера по руде необходимо определять не только с учетом длины активного фронта горных работ, но и с учетом влияния на фронт ширины рабочей площадки.

Допустим производительность карьера по руде принята на уровне 8,4 млн. м³/год. Минимальная ширина рабочей площадки составляет 35 м. Ширина рабочих площадок в карьере составляет 45 м, при этом, согласно рис. 1, длина активного фронта горных работ составляет 3700 м (линия A-B-C). Тогда, для заданных условий согласно формулы 1 ширина рабочей площадки должна составлять 55 м. Однако из рис. 1 видно, что максимальная длина активного фронта горных работ в карьере при ширине рабочей площадки 55 м составляет 2950 м (линия D-E-F), что значительно меньше принятой длины фронта в расчетах (3700 м). В данном случае для выполнения заданной производительности карьера по руде, в связи с отсутствием необходимого запаса руды готового к выемке, а также меньшей длины фронта горных работ произойдет уменьшение ширины рабочей площадки, что в свою очередь в дальнейшем приведет к негативным последствиям (отставание вскрышных работ, невыполнением производственной программы по руде, аварийным условиям работы карьера) [11].

Выполним исследования степени влияния отклонения фактической длины фронта горных работ от ее планового значения на отставание вскрышных работ в карьере.

Основным условием работы карьера является равенство скоростей перемещения рудных и вскрышных уступов [12]

$$l_p = l_v; \quad (2)$$

$$l_p = \frac{A_p}{L_p h_y}, \quad l_v = \frac{A_v}{L_v h_y}, \quad (3)$$

где A_p, A_v – производительность карьера соответственно по руде и вскрыше, м³/рік; L_p, L_v – длина активного фронта горных работ соответственно по руде и вскрыше, м; h_y – высота уступа, м.

Равенство (2) можно записать в виде

$$\frac{A_p}{L_p h_y} = \frac{A_v}{L_v h_y}. \quad (4)$$

Производительность карьера по руде поставлена под особый контроль, в связи с чем чаще всего выполняется. Поэтому равенство скоростей перемещения рудных и нерудных (вскрышных) уступов может быть нарушено из-за несоответствия фактической длины активного фронта горных работ длине фронта принятой при определении максимально возможной производительности карьера по руде и составлении перспективного календарного плана горных работ без учета взаимосвязи ширины рабочей площадки и длины активного фронта горных работ, обеспечивающих норматив готовых к выемке запасов. Уменьшение длины фронта горных работ на рудных уступах связано с тем, что при увеличении ширины рабочей площадки рудный фронт концентрируется на меньшем количестве уступов в нижней части карьера. При этом вскрыш-

ной фронт горных работ увеличивается за счет увеличения количества нижележащих вскрышных уступов.

В этом случае отставание вскрышных работ в карьере характеризуется величиной отклонения фактического угла откоса рабочего борта карьера от проектного.

Пусть рабочий борт карьера на начало года занимает положение 1 (рис. 2). Если фактическая длина фронта горных работ соответствует запланированному значению, то на конец года рабочий борт займет положение 2 (годовое подвигание составит Π_r), которое характеризуется сохранением ширины рабочей площадки и угла откоса рабочего борта такими, что и на начало года.

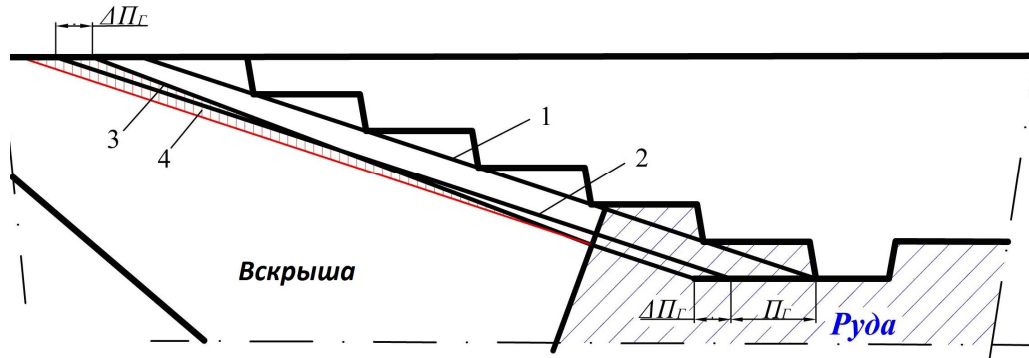


Рис. 2. Схема к обоснованию отставания вскрышных работ в карьере при отклонении фактической длины активного фронта горных работ от ее планового значения

В том случае, если фактическая длина фронта горных работ меньше запланированного значения для выполнения плана по руде, исходя из формулы (3), необходимо увеличить годовое подвигание рудных уступов на величину $\Delta\Pi_r$, а рудная зона борта карьера переместиться в положение представленное линией 3 (рис. 2). При этом для обеспечения обязательного горизонтального подвигания рудных уступов годовое подвигание нижнего вскрышного уступа необходимо также увеличить на величину $\Delta\Pi_r$. Однако, максимальное годовое горизонтальное подвигание вскрышной зоны ограничивается производительностью и имеющимся количеством горного оборудования, которое рассчитывается исходя из плановой производительности по вскрышным породам. Поэтому, исходя из производительности и имеющегося количества вскрышного оборудования, годовое подвигание верхнего вскрышного уступа уменьшится на величину $\Delta\Pi_r$, а вскрышная зона борта карьера переместиться в положение представленное линией 3 (рис. 2). Данное положение рабочего борта карьера характеризуется изменением ширины рабочей площадки и угла откоса рабочего борта по пустым породам, т.е. отставанием вскрышных работ (позиция 4, рис. 2).

Необходимое увеличение скорости подвигания рудных уступов в горизонтальном направлении определить по формуле, м/год

$$\Delta l_p = \frac{A_p}{(L_p^{nl} - L_p^\phi) h_y}, \quad (5)$$

где L_p^{nl} , L_p^ϕ - плановая и фактическая длина активного рудного фронта горных работ, м.

На рис. 3 показано зависимость приращения скорости горизонтального подвигания рудных уступов (Δl_p) при увеличении отклонения (Δl_p) фактической длины фронта горных работ от ее планового значения. На рис. 4 показан график зависимости приращения угла откоса рабочего борта карьера при увеличении отклонения (Δl_p) фактической длины фронта горных работ от ее планового значения для различных вариантов высоты вскрышной зоны борта карьера.

Из рисунков видно, что отклонение фактической длины фронта горных работ от ее планового значения значительным образом влияет на угол откоса рабочего борта карьера вне рудной зоны и приводит к накоплению отставания вскрышных работ в карьере.

Поэтому, при определении ширины рабочей площадки при заданной производительности карьера по руде необходимо принимать длину активного фронта по руде и вскрышным породам не на момент оценки, а с учетом ее взаимосвязи с шириной рабочей площадки, обеспечивающих в карьере норматив готовых к выемке запасов.

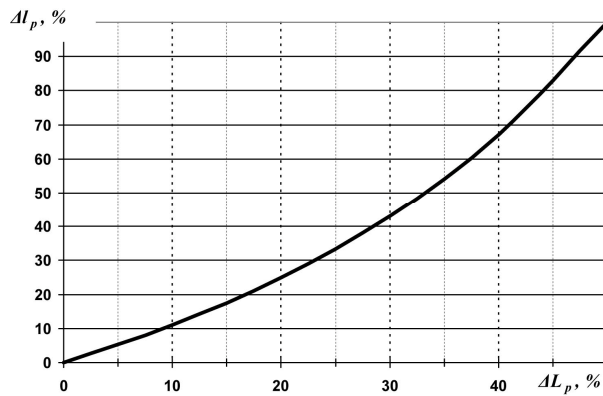


Рис. 3. Изменение приращения скорости горизонтального подвигания рудных уступов (Δl_p) при увеличении отклонения (ΔL_p) фактической длины активного фронта горных работ от ее планового значения

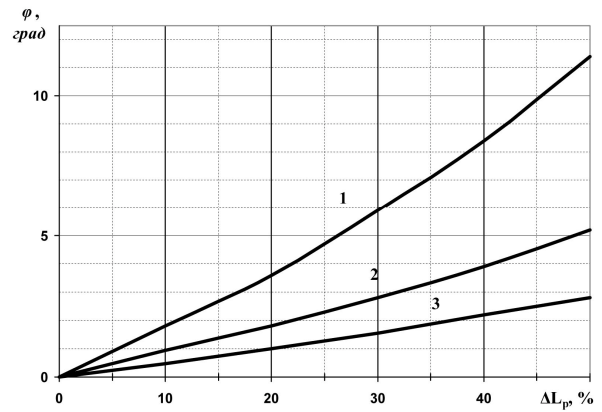


Рис. 4. График зависимости приращения угла откоса рабочего борта карьера (φ) при увеличении отклонения фактической длины фронта горных работ от ее планового значения для различных вариантов высоты вскрышной зоны борта карьера: 1 – 100м, 2 – 200 м, 3 – 300м

В данной работе отставанием вскрышных работ в карьере считается невыполнение объемов вскрыши, рассчитанное относительно положения горных работ в карьере, которое обеспечивает норматив готовых к выемке запасов для заданной производительности карьера по руде, с учетом ее изменения на конец каждого года эксплуатации карьера.

Выводы. Несоответствие фактической длины активного фронта горных работ длине фронта принятой при определении максимально возможной производительности карьера по руде и составлении перспективного календарного плана горных работ без учета взаимосвязи ширины рабочей площадки и длины активного фронта горных работ, обеспечивающих норматив готовых к выемке запасов приводит к нарушению равенства скоростей перемещения рудных и нерудных уступов и соответственно к накоплению отставания вскрышных работ в карьере. При этом отставанием вскрышных работ в карьере необходимо считать невыполнение объемов вскрыши, которые рассчитываются относительно положения горных работ в карьере, обеспечивающее норматив готовых к выемке запасов для заданной производительности карьера по руде, с учетом ее изменения на конец каждого года эксплуатации карьера.

Список литературы

1. Норми технологичного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. – Міністерство промислової політики України, м. Київ, 2007. – 279 с.
2. **Анистратов Ю.И.** Проектирование карьеров / Ю.И. Анистратов, К.Ю. Анистратов. – М.: ГЕМОС Лимитед, 2003. – 176 с.
3. **Ковальчук В.А.** Исследование взаимосвязи отставания вскрышных работ и производительности карьера / В.А.Ковальчук // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог. – 1999. – Вып. 67. – С. 3-7.
4. **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.
5. **Черепанов Е.В.** Обоснование технологи горных работ на рудных карьерах, имеющих отставание по вскрыше / Е.В.Черепанов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф.Решетнева. – 2006. – №5. – С. 267–270.
6. **Арсентьев А.И.** Производительность карьеров / А.И.Арсентьев. – Санкт-Петербургский горный институт. СПб, 2002. – 85 с.
7. **Близнюков В.Г.** Область возможного регулирования режима горных работ при геометрическом анализе карьерного поля / В.Г.Близнюков, Ю.М.Навитный, О.Ю.Близнюкова // Горный журнал. – 2015. – №5. – С.50–51.
8. **Луценко С. А.** Определение параметров системы разработки при изменении производительности карьера по руде / С.А. Луценко // Збірник наукових праць Державного підприємства «Науково-дослідний гірничорудний інститут». – Кривий Ріг: ДП «НДГРІ». – 2016. - №56. С. 68-74
9. **Луценко С. А.** Исследование взаимосвязи параметров системы разработки / С.А. Луценко // Вісник ЖДТУ. – Житомир, 2018. - №1 (81). – С. 269-273.
10. **Арсентьев А.И.** Производительность карьеров / **А.И.Арсентьев.** – Санкт-Петербургский горный институт. СПб, 2002. – 85 с.
11. **Луценко С.А.** Методика определения объемов вскрышных работ при увеличении производительности карьера по руде / С.А. Луценко // Вісник ЖДТУ. – Житомир, 2017. - №1 (79). – С. 191-197.
12. **Арсентьев А.И.** Законы формирования рабочей зоны карьера / А.И. Арсентьев. – Л.: Изд. ЛГИ, 1986. – 54 с.

Рукопись поступила в редакцию 09.04.2018

В. С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., В. В. ТРОНЬ, канд. техн. наук, доц.,
И. А. ГАПОНЕНКО, науч. сотр., Криворожский национальный университет
Д. И. ПАРАНЮК, инж., ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ ГОРНОЙ ПОРОДЫ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Целью исследования является оптимизация технологии и повышение эффективности автоматизированного управления бурением скважин в процессе добычи железосодержащих руд, представленных минералогическими разновидностями.

Методы исследования. В работе использованы следующие методы: анализ отечественного и зарубежного опыта; методы аналитического конструирования и компьютерного моделирования; методы численного моделирования для синтеза и анализа математической модели; методы математической статистики и теории вероятности для обработки результатов экспериментов.

Научная новизна заключается в совершенствовании метода структурной и параметрической идентификации модели геологической структуры породы на основе косвенной информации об изменении в процессе бурения скважин параметров сформированного соответствующим образом ультразвукового поля в комплексе с параметрами буровой установки (скорость бурения, крутящий момент, энергетические характеристики).

Практическое значение состоит в том, что использование предложенного подхода позволяет получить дополнительную информацию о концентрации и структуре распределения ферромагнитного компонента в горной породе. Для его использования не требуется наличие скважинной жидкости, или специальных устройств ввода упругих колебаний в горный массив, что способствует расширению сферы его применения.

Результаты. Идентификация геологической структуры скважины будет успешной только в том случае, если будет использоваться максимальное количество данных о процессе бурения, а обучающее множество будет включать в себя полный объем информации обо всех минеральных образованиях, которые могут встретиться в процессе проходки скважины. Зависимость амплитуды от частоты результирующих упругих колебаний, которые формируются в горном массиве, определяется содержанием и структурой распределения ферромагнитного компонента в горном массиве, а также физико-механическими характеристиками горной породы. Эта зависимость является усредненной характеристикой содержания и структуры распределения ферромагнитного компонента в горной породе, физико-механических характеристик и состояния горного массива, то есть его минералогического состава. Для того чтобы на основании полученных результатов измерений идентифицировать минералогическую разновидность исследуемой ферромагнитной горной породы предварительно проводят аналогичные измерения на эталонных образцах.

Ключевые слова: идентификация, математическая модель, бурение скважин, ультразвуковые измерения

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-81-87

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Исследования процесса бурения способствует повышению эффективности бурения разведывательных скважин. В процессе исследования производится запись и обработка параметров бурения с целью получения информации о геологической среде. Основными сложностями для проведения таких исследований является низкое качество информационных данных и отсутствие эффективных методов анализа этих данных [1].

К настоящему времени выполнено значительное количество научных работ, посвященных исследованию закономерностей, математическому и имитационному моделированию, формализации процессов бурения скважин при добыче и переработке железорудного сырья, применению различных методов оперативного контроля параметров этих процессов. В то же время, стоит отметить, что применение упомянутых методов и средств требует соответствующего математического аппарата, который бы позволил осуществить формализацию закономерностей связей между параметрами бурения и характеристиками минералогических разновидностей железорудного сырья, образующих горную породу. Для разработки соответствующего математического аппарата необходимо выполнить исследования по совершенствованию математических и имитационных моделей процессов, протекающих в буровой установке и разработать методы оперативного измерения и обработки параметров упомянутых процессов.

Перспективным подходом для оптимизации технологии и повышения эффективности процесса бурения скважин при добыче железорудного сырья, представленного несколькими минералогическими разновидностями, является формирование модели геологической структуры на основе данных комплекса оперативного измерения в процессе бурения: парамет-

ров буровой установки (скорость бурения, крутящий момент, энергетические характеристики) и характеристик горной породы, полученных путём исследования закономерностей изменения параметров сформированного соответствующим образом ультразвукового поля.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время ведутся разноплановые работы по созданию методов формирования модели геологической структуры в процессе бурения [2-6]. Однако требования, предъявляемые к качеству и оперативности получаемой в процессе бурения информации, не могут быть до конца удовлетворены техническим уровнем и технико-методическими возможностями, которые обеспечивают существующие информационно-измерительные системы и отдельные их звенья. В исследованиях [7, 8, 14, 15] предложен подход к статической оптимизации процессов бурения в контексте добычи и переработки руды, однако недостаточно внимания уделено динамичным процессам, возникающие непосредственно в процессе бурения скважины. В работе [9] указано, что достаточным динамическим показателем, характеризующие свойства породы, является механическая скорость бурения. Но в условиях сложной геологической структуры железорудных месторождений данного показателя недостаточно и нужен анализ большого числа переменных, подтверждающие результаты исследований [10,16].

Определять тип породы в процессе бурения по двум показателям: механическая скорость бурения и крутящий момент предложено в работе [11]. Недостатком такого подхода является то, что достижение требуемой точности распознавания разновидности породы возможно только в условиях бинарной геологической структуры, поскольку указанные параметры достаточно точно указывают на гомогенность и прочность горной породы. При наличии нескольких минералого-технологических разновидностей применение данного подхода не обеспечивает необходимый результат.

В работе [12] для мониторинга процесса бурения использованы следующие параметры: горизонтальные и вертикальные вибрации, осевое давление, крутящий момент, скорость бурения, скорость вращения и тому подобное. Недостатком данного подхода можно считать то, что в перечне контролируемых параметров имеются лишь параметры буровой установки и не осуществляется прямое или косвенное измерение характеристик породы, которая бурится. Аналогичный подход использован в работе [13] для распознавания геологической структуры, которая включает три разновидности. Однако, как и в предыдущей работе, распознавание разновидностей горной породы осуществлялось по параметрам бурильной установки без измерения характеристик самой породы.

В работах [17-20] предлагаются измерительные системы горного производства с использованием ультразвуковых методов определения характеристик рудных материалов, а в работах [16, 21, 24] эти методы предлагается использовать для распознавания минералогических разновидностей руды. Усовершенствованные энергосберегающие технологии добычи и переработки железной руды описаны в работах [22, 28-30]. Фундаментальное обоснование новых подходов к решению задач адаптивного управления и определения устойчивости их решений, разработке и расширении информационного и алгоритмического обеспечения, в том числе – на неформализованные данные, создание современных адаптивных систем оптимального управления производственными процессами на базе интеллектуальных технологий, выполнено в работах [23, 25]. В работах [26, 27] рассмотрены методы моделирования нелинейных динамических объектов обогащительного производства на основе ядерных операторов, формирование оптимального управления многоконтурными структурами и многокритериального управления нелинейными динамическими объектами с распределенными параметрами.

Постановка задачи. Целью исследований является оптимизация технологии и повышение эффективности автоматизированного управления бурением скважин в процессе добычи железосодержащих руд, представленных минералого-технологическими разновидностями. Для этого необходимо разработать метод структурной и параметрической идентификации модели геологической структуры породы на основе косвенной информации об изменении в процессе бурения скважин параметров сформированного соответствующим образом ультразвукового поля в комплексе с параметрами буровой установки (скорость бурения, крутящий момент, энергетические характеристики).

Изложение материала и результаты. Горная порода является сложным конгломератом, состоящим из аморфных и кристаллических соединений с различными прочностными свой-

ствами, структурным строением и гранулометрическим составом, имеющим стохастическую природу, в силу чего характеристики конкретной породы, вообще говоря, не являются однозначными (что подтверждается для одних и тех же пород с разных месторождений) [5]. Перспективным с точки зрения автоматизации вычислений и повышения качественного представления пространственных образов объектов является мета-математика нечетких множеств, на основании которой физико-механические характеристики $\sigma_c, \tau_{cp}, f, A_p$ представляются в виде нечетких чисел s, t, f и a соответственно, каждое из которых описывается нечетким множеством. Элементами указанных множеств являются пары чисел $\langle \mu_i/U_i(x) \rangle$ [32], где $\mu_i(u)$ и $U_i(x)$ – функции принадлежности и области определения (значения) характеристик как подмножества некоторых универсальных множеств S, T, F или A таких, что $\sigma_c \in S, \tau_{cp} \in T, f \in F$ и $A_p \in A$.

В этом случае горная порода определяется как лингвистическая переменная (ЛП), множество базовых термов которой включает нечеткие переменные (НП), построенные на указанных нечетких множествах [32]. При этом определение значений ЛП основывается на процедуре принятия решений (ПР) [31, 33].

Пусть $N_j(t) = U_0 \cdot I_j(t)$ – мощности, потребляемые приводными двигателями установки – функции общего вида класса L_1 . Задача сопоставления функций $N_j(t)$ некоторому искомому вектору $f(z)$ сводится к решению двух задач: по времени – определение эффективных значений прочностных параметров $f, \tau_{cp}, \sigma_c, \sigma_p$, удельной подачи инструмента $h(t)$ и глубины бурения $z(t)$; пространственная – восстановление реальных значений прочностных параметров по их эффективным значениям.

Временная задача [33, 34] сопоставляет вектору $f \equiv \{f, \tau_{cp}, \sigma_c, \sigma_p\}$ некоторую функцию $W^*(t)$, определяемую как эффективная удельная энергоёмкость бурения

$$W^*(t) = \int_{t_0}^t \left\{ \left[F(f^*(t))h(t) + M(f^*(t)) \right] \omega + A_y n_y \right\} d\tau, \quad (1)$$

тем самым определяя неявный нелинейный оператор $A(H, t) \equiv W^*(t)$ с мерой близости N_j и W^*

$$\rho(N, W^*) = \|A - N\|_{L_1}, \quad N \equiv \Sigma N_j.$$

Пусть H – толщина пробуренного слоя породы, $H = z(t)$. Тогда решение первой задачи сводится к следующему. Если

$$F^*[H] = \|A - N\|_{L_1} \quad (2)$$

– функционал, определенный на $H > 0$, то требуется определить значения $f^*(t), h(t), z(t)$, минимизирующие этот функционал при условиях: (1) монотонности решения $f^*(t) > 0$; (2) $\|A - N\|_{L_1} \leq \varepsilon(\delta)$

Пространственная задача [33, 34] сопоставляет отрезку $[z, z_0], 0 \leq z_0 - z \leq h_i$, где Z_0, h_i – значение текущей координаты вершины породоразрушающей коронки и высота ее рабочего участка, функцию $W(z)$, определяющую реальную удельную энергоёмкость процесса разрушения породы заданным способом бурения

$$W(z) = \int_{z_0}^z \left\{ \left[F(f)H(t(\zeta)) + M(\tau_{cp}) \right] \frac{\omega(t(\zeta))}{V(t(\zeta))} + A_y(\sigma) n_y / \eta \right\} d\zeta, \quad (3)$$

тем самым определяя нелинейный оператор $B(z_0, z) = W(z)$ с мерой близости B и W^*

$$\rho(B, W^*) = \|B - W^*\|_{L_1}.$$

В этом случае решение второй задачи сводится к следующему. Если

$$F[z_0 - z] = \|B - W^*\|_{L_1} \quad (4)$$

– функционал, определенный на отрезке $[0, z_0 - z]$, то требуется определить $f(z), \tau_{cp}(z), \sigma_c(z), \sigma_p(z), A_p(z)$ и l_n , минимизирующие этот функционал при условиях

$$(B - W^*)_{L_1} \leq \varepsilon(f) \quad (5)$$

– и ограниченности решений: $0 < f < f_{\max}; 0 < \tau_{cp} < \tau_{\max}; 0 < \sigma_c < \sigma_{\max}; 0 < \sigma_p < \sigma_{\max}; z_0 - z \leq h_i$, а $z(t)$ – удовлетворяет условию гомеоморфизма.

Получить дополнительную информацию для решения поставленной задачи предлагается путём оценки физико-механических характеристик ферромагнитных горных пород на основе ультразвуковых измерений.

Поставленная задача решается за счет того, что в процессе бурения скважин в горном массиве в зоне измерений формируют постоянное магнитное поле и электромагнитные импульсы синусоидальных колебаний заданной амплитуды и длительности, а частоту их заполнения меняют в определенных пределах, определяют зависимость амплитуды от частоты сложившихся упругих колебаний, по которой судят о характеристиках ферромагнитных горных пород и структуру их залегания.

Для возбуждения упругих колебаний в ферромагнитных породах горного массива используется акустический преобразователь электромагнитного типа. Он представляет собой распределенную структуру, состоящую из источника постоянного магнитного поля, источники переменного магнитного поля и некоторого объема ферромагнитного компонента горной породы, где происходят процессы преобразования энергии электромагнитного поля в энергию упругих колебаний частиц среды.

В режиме возбуждения упругих возмущений преобразователь электромагнитного типа за счет магнитострикционного эффекта и пондеромоторного действия электромагнитного поля реализует преобразования электромагнитных сигналов в упругие колебания ферромагнитной горной породы. В определенной точке ферромагнетика с координатами x_k формируется постоянное магнитное поле с напряженностью $H^0(x_k)$ и переменное (в результате воздействия электромагнитного импульса определенной амплитуды, длительности и частоты) с напряженностью $H^*(x_k, t)$ в момент времени t . В области существования магнитных полей $H^*(x_k, t)$ и $H^0(x_k)$ в ферромагнетике формируются деформации. Энергия в зоне формирования деформаций передается дальше упругими волнами. Таким образом, акустический преобразователь электромагнитного типа формирует упругие колебания непосредственно в зоне измерений характеристик ферромагнитных пород горного массива. Поскольку при этом отсутствуют какие-либо промежуточные элементы для передачи сформированных упругих колебаний в среду, то и отсутствуют погрешности процедуры измерений его характеристик, обусловленные этими факторами.

Амплитуда и частота сложившихся упругих акустических колебаний зависит от содержания и структуры распределения ферромагнитного компонента в горной породе, физико-механических характеристик и состояния горного массива. Приемник акустических колебаний принимает сформированный в горном массиве сигнал. Амплитуда принимаемого сигнала характеризует амплитудное значение содержания ферромагнитного компонента в зоне измерений: чем больше концентрация ферромагнетика, тем выше эффективность преобразования энергии электромагнитного импульса в механическую энергию деформации горной породы и, соответственно, амплитуда упругих колебаний, сформированных в горном массиве.

Электромагнитный акустический преобразователь и приемник размещаются на рабочем органе буровой установки, который перемещается по скважине с известной скоростью. Для оценки среднего значения содержания ферромагнитного компонента в контролируемой области горного массива измеряют среднее значение амплитуды A_{cp} сложившихся и принятых приемником упругих колебаний.

При формировании упругих колебаний в ферромагнитной горной породе происходит их отражение, наложение и поглощения. Параметры этих процессов зависят от амплитуды и частоты электромагнитного импульса, структуры распределения ферромагнитного компонента в горном массиве и физико-механических свойств горных пород. Процессы отражения упругих колебаний на структурных неоднородностях распределения ферромагнитного компонента в горной породе и наложения отраженных сигналов друг на друга приводят к вариациям частоты результирующих упругих колебаний. Причем величина этих вариаций определяется соотношением длины волны сложившихся упругих колебаний и размеров включений ферромагнитного компонента в горной породе, то есть структурой его распределения в горном массиве. С изменением частоты синусоидальных колебаний, заполняющих электромагнитный импульс, меняется и длина волны упругих колебаний, которые формируются в горном массиве и, соответственно, условия их распространения в зоне измерений. Зависимость процессов отражения и наложения сформированных упругих колебаний в горной породе от размеров и структуры ее

неоднородностей приводит к изменению амплитуды принятого приемником сигнала. Изменение частоты синусоидальных колебаний, которыми заполняется электромагнитный импульс, позволяет осуществить формирование упругих колебаний с различной длиной волны и тем самым выявить и оценить реакцию горного массива на соотношение этого параметра, размера и структуры распределения ферромагнитного компонента. Таким образом, зависимость амплитуды от частоты результирующих упругих колебаний, которые формируются в горном массиве, определяются содержанием и структурой распределения ферромагнитного компонента в горном массиве, а также физико-механическими характеристиками горной породы.

Эта зависимость является усредненной характеристикой содержания и структуры распределения ферромагнитного компонента в горной породе, физико-механических характеристик и состояния горного массива, то есть его минералогического состава. Обычно для разрабатываемых месторождений характерно наличие 5-7 минералогических разновидностей. Для того чтобы на основании полученных результатов измерений идентифицировать минералогическую разновидность исследуемой ферромагнитной горной породы предварительно проводят аналогичные измерения на эталонных образцах.

Используемый метод позволяет получать дополнительную информацию о концентрации и структуре распределения ферромагнитного компонента в горной породе, то есть ее минерального вида. Для его использования не требуется наличие скважинной жидкости, или специальных устройств ввода упругих колебаний в горный массив, способствует расширению сферы его применения.

Этапы решения задачи интерпретации косвенных экспериментальных данных перечислены ниже. Поиск и построение функциональных зависимостей, описывающих связь между искомыми прочностными характеристиками исследуемого объекта и режимными (силовыми и кинематическими параметрами), развиваемыми на рабочий орган установки. Решение второй задачи динамики (при неизвестных значениях нагрузки на рабочем органе БРИ). Восстановление эффективных значений силовых (M , F) и кинематических (V , ω) параметров, развиваемых на РО как функций от времени. Восстановление реальных значений силовых (M , F) и кинематических (V , ω) параметров и соответствующее им энергопотребление приводных двигателей по их эффективным значениям. Получение информации относительно концентрации и структуры распределения ферромагнитного компонента в горной породе на основе ультразвуковых измерений. Представление данных различных математических классов в едином обобщенном пространстве. Выработка управленческих решений на компакте обобщенных данных.

Выводы и направления дальнейших исследований. Результаты выполненных исследований свидетельствуют о том, что идентификация геологической структуры скважины будет успешной только в том случае, если будет использоваться максимальное количество данных о процессе бурения, а обучающее множество будет включать в себя полный объем информации обо всех минеральных образованиях, которые могут встретиться в процессе проходки скважины.

Зависимость амплитуды от частоты результирующих упругих колебаний, которые формируются в горном массиве, определяются содержанием и структурой распределения ферромагнитного компонента в горном массиве, а также физико-механическими характеристиками горной породы.

Используемый метод позволяет получать дополнительную информацию о концентрации и структуре распределения ферромагнитного компонента в горной породе, то есть ее минералогической разновидности. Для его использования не требуется наличие скважинной жидкости, или специальных устройств ввода упругих колебаний в горный массив, что способствует расширению сферы его применения.

Список литературы

1. **Smith L.I.** A tutorial on principal component analysis. 2002 URL: http://www.cs.otago.ac.nz/cosc453/student_tutorials/principal_components.pdf
2. **Martin J.** Application of pattern recognition techniques to monitoring-while-drilling on a rotary electric blast hole drill at an open-pit coal mine. Master's thesis, Queen's University. 2007.
3. **Liu H., Karen Yin K.** Using information extracted from drill data to improve blasting design and fragmentation. *Fragblast*. 2001. Vol 5 (3), 157-179.

4. **Beattie N.** Monitoring-while-drilling for open-pit mining in a hard rock environment. Master's thesis, Queen's University. 2009.
5. **Козин В.З.** Исследование руд на обогатимость. – Екатеринбург: Изд.-во УГГУ, -2008. – 312 с.
6. **Demuth H., Beale M., Hagan M.** Neural Network Toolbox 6: User's Guide. Natwick, MA: The MathWorks Inc. 2008.
7. **Xiaowei P.** Optimization of mineral processing plant through ROM ore size // AGH Journal of Mining and Geoengineering, 2012. Vol 36(4), 123-132.
8. **Mwango Bowa V.** Optimization of blasting design parameters on open pit bench a case study of Nchanga open pits. International Journal of Scientific Technology Research, 2015. Vol 4(9), 45-51.
9. **Yue Z.Q., Lee C.F., Law K.T., Lam L.G.** Automatic monitoring of rotary percussive drilling for ground characterization. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences, 2015. Vol 41, 573-612.
10. **Schunnesson H.** Rock characterisation using percussive drilling. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences, 2014. Vol 35(6), 711-725.
11. **Schunnesson H., Holme K.** Drill monitoring for geological mine planning in the Viscaria copper mine, Sweden. CIM Bulletin, 2015. Vol 90(1030), 82-89.
12. **Beattie N.** Monitoring-while-drilling for open-pit mining in a hard rock environment: Master's thesis. Kingston. Queen's University. 2012.
13. **Martin J.** Application of pattern recognition techniques to monitoring-while-drilling on a rotary electric blast hole drill at an open-pit coal mine: Master's thesis. Kingston. Queen's University. 2013.
14. **Segui J.B., Higgins M.** Blast design using measurement while drilling parameters. Fragblast: International Journal for Blasting and Fragmentation. 2012. 6, (3-4), 287-299.
15. **Scoble, M. J., Peck, J., Hendricks, C.** Correlation between rotary drill performance parameters and borehole geophysical logging. Mining Science and Technology, 2012. 8, 301-312.
16. **Morkun, V., Tron, V.** Automation of iron ore raw materials beneficiation with the operational recognition of its varieties in process streams. Metallurgical and Mining Industry, 2014. 6, 4-7.
17. **Morkun, V., Morkun, N., Pikilnyak, A.** The study of volume ultrasonic waves propagation in the gas-containing iron ore pulp. Ultrasonics, 2015. 56, 340-343.
18. **Morkun, V., Morkun, N., Pikilnyak, A.** Ultrasonic facilities for the ground materials characteristics control. Metallurgical and Mining Industry, 2014. 2, 31-35.
19. **Morkun, V., Morkun, N., Pikilnyak, A.** Simulation of high-energy ultrasound propagation in heterogeneous medium using k-space method. Metallurgical and Mining Industry, 2014. 3, 23-27.
20. **Morkun, V., Morkun, N., Pikilnyak, A.** Simulation of the Lamb waves propagation on the plate which contacts with gas containing iron ore pulp in Waveform Revealer toolbox. Metallurgical and Mining Industry, 2014. 5, 16-19.
21. **Morkun, V., Tron, V., Goncharov, S.** Automation of the ore varieties recognition process in the technological process streams based on the dynamic effects of high-energy ultrasound. Metallurgical and Mining Industry, 2015. 2, 31-34.
22. **Morkun, V., Morkun, N., Pikilnyak, A.** Ultrasonic phased array parameters determination for the gas bubble size distribution control formation in the iron ore flotation. Metallurgical and Mining Industry, 2014. 3, 28-31.
23. **Morkun, V., Tron, V.** Ore preparation energy-efficient automated control multi-criteria formation with considering of ecological and economic factors. Metallurgical and Mining Industry, 2014. 5, 8-10.
24. **Morkun V., Tsvirkun S.** Investigation of methods of fuzzy clustering for determining ore types. Metallurgical and Mining Industry, 2014. 5, 11-14.
25. **Morkun, V., Morkun, N., Pikilnyak, A.** The gas bubble size distribution control formation in the flotation process. Metallurgical and Mining Industry, 2014. 4, 42-45.
26. **Morkun, V., Morkun, N., Pikilnyak, A.** Adaptive control system of ore beneficiation process based on Kaczmarz projection algorithm. Metallurgical and Mining Industry, 2015. 2, 35-38.
27. **Morkun, V., Morkun, N., Tron, V.** Formalization and frequency analysis of robust control of ore beneficiation technological processes under parametric uncertainty. Metallurgical and Mining Industry, 2015. 5, 7-11.
28. **Golik V., Komashchenko V., Morkun V.** Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation, Metallurgical and Mining Industry, 2015. 4, 321-324.
29. **Golik, V., Komashchenko, V., Morkun, V., Burdzieva, O.** Metal deposits combined development experience. Metallurgical and Mining Industry, 2015. 6, 591-594.
30. **Golik, V., Komashchenko, V., Morkun, V., Khasheva, Z.** The effectiveness of combining the stages of ore fields development. Metallurgical and Mining Industry, 2015. 5, 401-405.
31. **Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В. и др.** Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М.: Наука, 1989. 303 с.
32. **Заде З.** Понятие лингвистической переменной и её приложение. М.: Мир, 1972. 120 с.
33. **Моркун В.С., Покуренько А.А., Луценко И.А.** Адаптивные системы оптимального управления технологическими процессами. - Кривой Рог: Минерал, 2005. 261 с.
34. **Покуренько А.А.** Информационно-вычислительный комплекс и обратные задачи. – Київ: Наукова думка, 1998. 281 с.

Рукопись поступила в редакцию 06.04.2018

ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЯ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА СТАДИИ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Важной проблемой, возникающей при анализе вариантов технологических систем, является оценка их сложности, так как сложность структуры разных систем, при выполнении ими одинаковых функций, связана с целым рядом технических, эксплуатационных, экономических и других важных качеств. При разработке технологических систем возникает задача выбора из нескольких возможных систем такой, которая при наименьших затратах обеспечивает получение заданного эффекта.

Целью статьи является разработка метода оценки сложности структуры технологических систем при помощи комплексного показателя. Метод должен обладать достаточной точностью и обеспечивать получение достоверной и объективной количественной оценки сложности структуры, быть интуитивно приемлемым и пригодным для практических исследований.

Научной новизной предложенного метода является то, что при оценке сложности структуры учитывается число элементов технологической системы, число связей между элементами, число связей между элементами и внешней средой, а также иерархический уровень элементов в системе.

Практическая значимость разработанного авторами метода состоит в том, что он позволяет решить задачу количественной оценки сложности структуры технологических систем различного функционального назначения, обеспечивает возможность выполнения научно обоснованного выбора оптимального варианта структуры технологической системы, позволяет вести обработку информации о системах на ЭВМ.

Предложенный в работе показатель относительной сложности структуры технологических систем характеризует совершенство структуры системы, показывает степень рациональности использования элементов в структуре. Использование показателя относительной сложности структуры обеспечивает обоснованность и корректность при сравнении технологических систем, состоящих из разного количества элементов, имеющих разное число связей между элементами и внешней средой, а также разные иерархические уровни элементов.

Проведена апробация разработанного метода на примере систем технологического оборудования агломерационных фабрик Криворожского железорудного бассейна. Показано, что в реальных технологических системах усложнение структуры происходит в основном за счет последовательных включений дополнительного оборудования, что нельзя считать обоснованным.

Ключевые слова: технологические системы, сложность структуры технологических систем, иерархический уровень элемента, агломерационные фабрики.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-87-92

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Важнейшей народно-хозяйственной проблемой является проектирование сложных технологических систем различного функционального назначения – промышленных комплексов для добычи и переработки полезных ископаемых, для производства транспортных средств, машин и оборудования для горной и нефтегазовой промышленности и др. Стадии проектирования технологических систем регламентированы стандартами [ГОСТ 2.103-2013](#) и [ГОСТ 15.201-2000](#) [1-2]. Технологические системы современных промышленных предприятий относятся к классу сложных систем. Целью создания любой технической системы является обеспечение получения максимального результата ее функционирования, а эффективностью ее создания – степень соответствия этого результата поставленной цели проектирования [3]. При разработке технологических систем возникает задача выбора из нескольких возможных такой, которая при наименьших затратах обеспечивает получение максимального эффекта. Важной проблемой, возникающей при этом, является оценка их сложности, так как сложность разных систем, при выполнении ими одинаковых функций, связана с целым рядом технических, эксплуатационных, экономических и других важных качеств. При выборе из двух идентичных технологических систем обычно выбирают менее сложную, поэтому сложность должна иметь количественную оценку. Как отмечается в работе [4] показатель сложности является системным параметром.

Таким образом, возникает актуальная задача выбора или разработки объективного количественного критерия для оценки сложности структуры технологических систем на стадии их проектирования.

Анализ исследований и публикаций. Как отмечается в работе [5], формализация является одним из наиболее трудных задач при всех попытках математического описания сложности

структуры систем. Системам, которые используются в промышленности, присущи многие характерные свойства «сложности»: большое число элементов, из которых состоит система; многообразие возможных форм связей между собой; сложное функционирование; иерархичность структуры и т. п.

К настоящему времени формализация понятия сложности получено для достаточно простых классов управляющих систем [6, 8]. Авторы работы [9] пишут: "Современные сложные системы характеризуются не только большим числом элементов, но главным образом сложностью внутренней структуры - обратными связями, различного рода избыточностями и т.п. В связи с этим сложность современных систем нужно рассматривать не как чисто количественное увеличение комплектующих сложную систему элементов, а как новое качественное свойство, присущее этим сложным системам" Понятие сложности по-разному конкретизируется в различных предметных областях. В работе [10] при определении меры сложности системы выделяются инвариантные свойства системы или информационные инварианты, и вводится мера сложности систем на основе их описания. При этом мера сложности или функция $\mu(S)$ задана на некотором множестве элементов и подсистем системы S . Возможны различные способы определения сложности структуры систем. Сложность структуры, можно определять топологической энтропией — сложностью конфигурации структуры системы

$$S = k \cdot \ln(W), \quad (1)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-16}$ (эрг/град) – постоянная Больцмана; W – вероятность состояния системы.

Как отмечает сам автор, определение меры сложности для систем различной структуры при помощи данного метода не может быть однозначным, а часто даже определенным.

Автор статьи [11] считает, что сложность системы должна зависеть от ее структуры, однако количество элементов и связей прямо не влияют на сложность системы. Возможно, он прав тогда, когда рассматриваются сложные электронные системы, которые обладают некоторой неопределенностью. Предлагается сложность C системы S оценивать затратами E , временем T , сложностью методов M и степенью соответствия A по формуле

$$C = \langle T, E, M, A \rangle, \quad (2)$$

где $T [0; \infty]$, $E [0; \infty]$, $M [0; \infty]$, $A [0; 1]$.

Сложность по параметру T определяет время, необходимое для создания системы с затратами E при использовании методов M и достигаемой степени соответствия A . Сложность по параметру E определяет затраты труда, ресурсов, энергии, необходимые для создания системы за время T при использовании методов M и достигаемой степени соответствия A . Сложность по параметру M определяет сложность методов, необходимых для создания системы за время T с затратами E и достигаемой степенью соответствия A .

Авторы работы [12] предлагают оценивать сложность систем субъективно, используя однотипные элементы реальных систем N , некоторые числа S и вспомогательную величину $\alpha = M/N(N-1)$, где M — фактическое число связей в реальной системе.

Тогда сложность системы оценивается количественной величиной

$$S = (1 + v^n \alpha)^n \sum_{i=1}^p S_i k_i, \quad (3)$$

где v — коэффициент, учитывающий сложность связей по сравнению со сложностью элементов; p — число элементов одного класса; k — количество типовых классов элементов.

Преимуществом данного подхода является приоритет влияния на сложность структуры связей. Однако пользоваться приведенной формулой весьма затруднительно, так как субъективные оценки S_i , v и p не позволяют получить однозначные объективные результаты.

В работе [13] сложность систем рекомендуется оценивать степенью влияния случайных факторов, числом непересекающихся системных функций, системными параметрами: количеством элементов, числом связей и иерархических уровней. Для технологических систем последние рекомендации представляются наиболее приемлемыми, так как эта оценка имеет количественное выражение. Однако предлагаемая методика разработана недостаточно глубоко и не пригодна для практического использования в процессе проектирования систем.

Постановка задачи. Следовательно, общепризнанные критерии и методы объективной количественной оценки сложности технологических систем в настоящее время отсутствуют, и их разработка представляет существенный теоретический и практический интерес. Несмотря на важность и актуальность проблемы оценки сложности технологических систем, она не нашла

достаточно полного практического решения ни в одной из отраслей наук. Одним из первых практических решений этой проблемы могут служить результаты исследований, представленных в работе [14].

Изложение материала и результаты. В соответствии с положениями работы [14] для оценки сложности структуры технологических систем предлагается специальный количественный критерий $S(n)$. Критерий сложности структуры $S(n)$ определяется при следующих исходных предпосылках:

1. Элемент системы имеет один "вход" и один "выход". Под входом понимается канал, через который предшествующий элемент системы или внешняя среда воздействуют на данный элемент, изменяя его состояние. Под выходом понимается канал, через который данный элемент воздействует на последующий элемент или внешнюю среду путем изменения своего состояния. 2. Состояние выхода элемента однозначно определяется состоянием его входа. 3. Сложность структуры $S(n)$ единичного элемента равна единице, т.е. $S(1)=1$. 4. Сложность системы, состоящей из n элементов, при $n \rightarrow \infty$ стремится к бесконечности т.е.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S(n) = \infty \quad (4)$$

5. Сложность структуры, $S(n)$ определяется количеством элементов n , числом связей между ними n_c и внешней средой $n_{c.вн.}$, а также иерархическим уровнем I_0 системы.

Логическая реализация исходных предпосылок пп. 1-5 приводит к следующему тождеству, определяющему показатель сложности $S_j(n)$ подсистемы j -го иерархического уровня I_j , которая состоит из n_j элементов

$$S_j(n) \equiv K_1(n_j + n_c + n_{c.вн.})I_j \quad (5)$$

Так как каждый элемент имеет два канала связи (вход и выход), то общее число связей подсистемы j -го уровня I_j равно

$$n_c + n_{c.вн.} = 2n_j, \quad (6)$$

а показатель сложности $S_j(n)$ в соответствии с выражением (5) определяется как следующее произведение

$$S_j(n) = 3K_1 n_j I_j \quad (7)$$

Так как $S(1)=1$ (см. п. 3 исходных предпосылок), то коэффициент $K_1=1/3$. Следовательно, показатель сложности подсистемы иерархического $S_j(n)$ уровня I_j , равен

$$S_j(n) = n_j I_j \quad (8)$$

Так как система C_0 образуется из K отдельных подсистем C_j путем агрегации, то найденный показатель сложности $S_j(n)$ должен обладать свойством аддитивности, т.е. для системы должно быть справедливо следующее равенство

$$S(n) = \sum_{j=1}^K S_j(n) = \sum_{j=1}^K n_j I_j \quad (9)$$

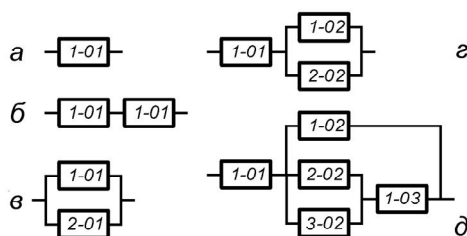


Рис.1. Варианты структуры систем, построенных из одного элемента (а), двух элементов (б, в), трех элементов (в), четырех элементов (д)

В результате анализа различных структур для систем, содержащих $n = 1, 2, \dots$ элементов (рис. 1), выявлено, что при $n = const$ показатель сложности $S(n)$ колеблется в широких пределах в зависимости от количества и характера межэлементных связей. Так, например, для системы, состоящей из трех элементов, в зависимости от структуры показатель сложности $S(n)$ изменяется от 3 до 5 (в 1,7 раза); для системы, состоящей из четырех элементов, - от 4 до 9 (в 2,3 раза) и т.д. Следовательно, при использовании одинакового количества элементов возможно образование систем со структу-

рами различной сложности, которыми можно целенаправленно управлять. Максимальное значение показателя сложности структуры системы $S_{\max}(n)$ определяется при помощи следующего выражения

$$S_{\max}(n)=0,5n(n+1)-1, \text{ где } n = 2, 3, \dots \quad (10)$$

По мере усложнения структуры системы за счет включения в работу дополнительных прямых и обратных связей, происходит увеличение функциональных возможностей системы: увеличивается устойчивость функционирования системы, расширяется диапазон допустимых отклонений параметров внешней среды, влияющих на систему, создаются резервные связи и элементы, что приводит к увеличению надежности и эффективности технологических систем.

Предложен также критерий удельной сложности структуры $s(n)$, который представляет собой отношение показателя сложности структуры данной системы $S(n)$ к максимально возможному значению этого показателя $S_{\max}(n)$ системы, имеющей то же число элементов

$$S(n)=s(n)/S_{\max}(n). \quad (11)$$

По критерию удельной сложности структуры $s(n)$ удобно производить сравнение сложности технологических систем, состоящих из различного числа элементов n , исключив тем самым субъективность оценки.

В зависимости от изменений структуры системы, состоящей из n элементов, показатель удельной сложности $s(n)$ является переменным и изменяется в широких пределах. На пример, для системы, состоящей из четырех элементов $n = 4$, для разных структур, показатель удельной сложности $s(4)$ равен значениям 0,444; 0,667; 0,775 0,888; 1,0 при максимально возможном значении показателя сложности $S_{\max}(4)=9$. Интересно отметить, что для систем, показанных на рисунке б, в, г, д, показатель удельной сложности $s(n) = 1$ соответствует максимально возможному значению показателя сложности $S(2)=2$, $S(3)=5$, $S(5)=9$, что равно максимуму для всех случаев.

Результаты оценки сложности структуры технологических систем агломерационных фабрик [15-18], которые выполнены по предлагаемой методике, приведены в таблице, где во 2-й колонке даны абсолютные значения показателя сложности $S(n)$; в 3-й колонке — удельные значения показателя сложности $s(n) \cdot 10^{-3}$.

Таблица

Показатели сложности структуры технологических систем агломерационных фабрик

Наименование технологической системы	Показатели сложности структуры	
	абсолютные $U(n)$	удельные $u(n) \cdot 10^{-3}$
НКГОК-1	308	25,81
НКГОК-2	276	28,78
НКГОК-2Р	370	21,26
ЮГОК-1, 2	230	33,90

Сравнительный анализ показателей сложности структуры агломерационной фабрики НКГОК-2Р (одна из наиболее сложных технологических систем, $S(186)=370$) и других систем показывает, что после реконструкции фабрики количество основных элементов системы увеличилось на 27,5% (с 136 до 186). Так как при этом число связей увеличилось незначительно, то удельный показатель сложности системы не только не увеличился, но даже уменьшился на 35,2%. По сравнению с системами НКГОК-1 и ЮГОК-1, 2, количество элементов технологических систем агломерационной фабрики НКГОК-2Р больше соответственно на 17,2%, 37,6%, 26,9%, а сложность - меньше соответственно на 21,3%, 59,3%, 37,2%. Уменьшение сложности системы с большим числом элементов объясняется тем, что сложность реальных систем растет значительно медленнее, чем число составных компонентов.

Выводы и направления дальнейших исследований. Авторами разработан метод оценки сложности структуры технологических систем при помощи комплексного показателя, который учитывает число элементов системы, число связей между элементами, число связей между элементами и внешней средой, а также иерархический уровень элементов в системе. Метод

обладают достаточной точностью, позволяет получить достоверную и объективную количественную оценку сложности структуры, интуитивно приемлем и пригоден для практических исследований. Предложен показатель относительной сложности структуры технологических систем, который характеризует совершенство структуры системы, показывает степень рациональности использования элементов в структуре. Использование показателя относительной сложности структуры обеспечивает обоснованность и корректность при сравнении технологических систем, состоящих из разного количества элементов, имеющих разное число связей между элементами и внешней средой, а также разные иерархические уровни элементов. Проведена апробация разработанного метода на примере систем технологического оборудования агломерационных фабрик Криворожского железорудного бассейна. Показано, что в реальных технологических системах усложнение структуры происходит в основном за счет последовательных включений дополнительного оборудования, что нельзя считать обоснованным. Для увеличения показателя относительной сложности структуры технологических систем рациональным является использование комбинированного последовательно-параллельного включения дополнительного технологического оборудования, при котором обеспечивается высокий иерархический уровень элементов в системе.

Список литературы

1. [ГОСТ 2.103-2013. Единая система конструкторской документации. Стадии разработки.](#)
2. [ГОСТ 15.201-2000. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство.](#)
3. **Кохановский В. А.** Оценка сложности системы [Текст] / В. А. Кохановский, М. Х. Сергеева, М. Г. Комахидзе. - www.donstu.ru/structure/cadre/komakhidze-manana-givievna/.
4. **Мамчур Е. А.,** Овчинников Н. Ф., Уемов А. И. Принцип простоты и мера сложности [Текст] / Е. А. Мамчур, Н. Ф. Овчинников, А. И. Уемов. – М.: Наука, 1989. – 304 с.
5. dic.academic.ru/...nsf/enc_mathematics/5132/СЛОЖНАЯ [Электронный ресурс].
6. **Ляпунов А. А.** Теоретические проблемы кибернетики [Текст] / А. А. Ляпунов, С. В. Яблонский // Проблемы кибернетики: сборник статей. - М.: Физматгиз, 1963. - Вып.9. - С.5-22.
7. **Бусленко Н. П.** Лекции по теории сложных систем [Текст] / Н. П. Бусленко, В. В. Калашников, И. Н. Коваленко. – Ленинград: Советское радио, 1973. – 440 с.
8. Энциклопедия кибернетики, т. 2, К., 1975, с. 373-75. **Н. Н. Кузюрин.**
9. **Шишонов Н. А.** Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники [Текст] / Н. А. Шишонов, В. Ф. Репкин, Л. П. Барвинский. – М.: Советское радио, 1964. – 550 с.
10. «[Введение в системный анализ и моделирование](#)» www.victor-safronov.ru/systems-analysis/lectures/kaziev/04.html [Электронный ресурс].
11. www.ait.org.ua/p/pub_podhod.html [Электронный ресурс].
12. **Бусленко Н. П.** Лекции по теории сложных систем [Текст] / Н. П. Бусленко, В. В. Калашников, И. Н. Коваленко. – Ленинград: Советское радио, 1973. – 440 с.
13. **Сетров М. И.** Принцип системности и его основные понятия [Текст] М. И. Сетров // Проблемы методологии системного исследования. – М.: Мысль, 1970. – С. 49-53.
14. **Рудь Ю. С.** Повышение надежности и производительности систем оборудования для окускования железных руд [Текст] / Ю. С. Рудь. - Диссертация доктора техн. наук. – М.: МГИ, 1986. – 329 с.
15. **Рудь Ю. С.** Надежность и эффективность оборудования фабрик окускования [Текст] / Ю. С. Рудь. – М.: Недра, 1977. – 200 с.
16. **Рудь Ю. С.** Эксплуатационная надежность оборудования обжиговой машины ОК-306 [Текст] / Ю. С. Рудь, Н. В. Кияновский, Н. М. Флак, В. И. Бессараб, В. П. Шевченко, А. С. Якименко. - М.: Институт «Черметинформация», 1975 (Экспресс-информ. Сер. 17. Служба и ремонт механического оборудования на металлургических заводах. - Вып. 7). - 14 с.
17. **Рудь Ю. С.** Оборудование для окомкования и обжига железорудных окатышей [Текст] / Ю. С. Рудь, В. И. Бессараб, В. М. Палагута, Г. Х. Бойко, М. Е. Фастовский. - М.: ЦНИИТЯЖМАШ, 1982. (Обзорн. информ. Сер. Металлургическое оборудование. - Вып. 36). -33 с.].
18. **Рудь Ю. С.** Современное оборудование для обогащения железных руд [Текст] / Ю. С. Рудь, В. И. Бессараб, Л. З. Ортенберг. - ЦНИИТЭИТЯЖМАШ. - М., 1982. - Обзор информ. Сер. Горное оборудование. - Вып. 33). - 36 с.

Рукопись поступила в редакцию 06.04.2018

А. В. КОСЕНКО, асистент,
В. М. ТАРАСЮТІН, О. Л. ШЕПЕЛЬ, кандидати техн. наук, доценти,
Криворізький національний університет

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПУСКУ РУДИ ПІД ОБВАЛЕНИМИ ПУСТИМИ ПОРОДАМИ

Мета. Встановити кількісні залежності величини тиску в межах фігури випуску від інтенсивності технологічного процесу випуску для різних параметрів очисної панелі та об'ємної ваги обвалених пустих порід, що налягають.

Методи дослідження. Чисельне моделювання високо-інтенсивного технологічного процесу випуску руди під обваленими породами; аналітичний метод дослідження.

Наукова новизна. Набула подальшого розвитку залежність зміни величини тиску у межах фігури випуску, що базується на урахуванні інтенсивності протікання технологічного процесу випуску, умов контакту очисної панелі з не обваленим рудним або породним масивом та обваленими пустими породами, які вміщують очисну панель та їх об'ємної ваги, яка на відміну від відомої враховує розташування очисної панелі за потужністю рудного покладу, глибину ведення очисних робіт і клас розробки покладу та знаходиться у прямій пропорційній логарифмічній залежності від інтенсивності протікання технологічного процесу випуску, еквівалентної ширини очисної панелі, яка характеризує умови її контакту з обваленими пустими породами, що вміщують рудний масив та їх об'ємної ваги, потужності рудного покладу, глибини ведення очисних робіт і оберненій пропорційній залежності від класу розробки покладу.

Практична значимість. Встановлена залежність зміни величини тиску у межах фігури випуску в діапазоні інтенсивності технологічного процесу випуску руди від 1,5 до 12 т/м² за добу, що дозволить встановити прогностні показники вилучення при застосування високопродуктивної самохідної навантажувально-доставочної техніки.

Результати. Встановлено, що величина тиску у межах фігури випуску знаходиться у прямій пропорційній логарифмічній залежності від інтенсивності протікання технологічного процесу випуску, еквівалентної ширини очисної панелі, об'ємної ваги обвалених пустих порід, які вміщують рудний масив, потужності рудного покладу, глибини ведення очисних робіт і оберненій пропорційній залежності від класу розробки покладу, а область зони пониження тиску у процесі випуску рудної маси знаходиться у пропорційній залежності від інтенсивності його протікання і кількості випускних виробок з яких здійснюється випуск рівномірними дозами з приблизно однаковою інтенсивністю.

Ключові слова: чиста руда, теорія випуску руди, інтенсивність випуску руди, показники вилучення, чисельне моделювання, логарифмічна залежність..

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-92-96

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Визначення показників вилучення руди для умов підземного Кривбасу здійснюється за допомогою затвердженої методики [1]. Проведені розрахунки за якою показали, що зміна показників вилучення чистої руди, а відповідно і рудної маси, здійснюється у діапазоні зміни інтенсивності технологічного процесу випуску у межах від 0,5 до 1,5 т/м² на добу, яка забезпечується продуктивністю скреперної доставки. Подальше збільшення інтенсивності зовсім не впливає на показники вилучення, що унеможливує проведення розрахунків показників вилучення рудної маси у разі застосування високопродуктивної самохідної гірничої техніки на технологічному процесі випуску і доставки [2].

Аналіз досліджень та публікацій. Практичний досвід і наукові дослідження [3-8] у галузі теорії та практики процесу випуску руди під обваленими пустими породами, які ґрунтуються на лабораторному моделюванні, теоретичних узагальненнях і шахтних експериментах показали, що значним чином на показники вилучення руди впливає інтенсивність її випуску, збільшення якої значно знижує втрати руди і покращує умови експлуатації виробок доставки в результаті зменшення гірничого тиску на днище приймального горизонту.

Постановка завдання. Метою роботи є встановлення кількісних залежностей величини тиску в межах фігури випуску від інтенсивності технологічного процесу випуску для різних параметрів очисної панелі та об'ємної ваги обвалених пустих порід, що налягають.

Для проведення чисельного моделювання був обраний програмний пакет EDEM методу дискретних елементів (DEM Solutions Ltd), так як він є узагальненим методом скінчених елементів (FEM) [9]. Метод дозволяє моделювати велику кількість частинок сипкого матеріалу у процесі виконання різних промислових операцій гірничої галузі [9].

Моделювалися умови II класу розробки покладу потужністю 60 м на глибині ведення гірничих робіт 1400 м, очисними панелями довжиною за простяганням 25 м і навхрест простягання рудного покладу: 20 м; 30 м; 35 м – для забезпечення еквівалентної ширини очисної панелі: 20 м; 25 м; 30 м; 35 м; 40 м, яка характеризує умови контакту панелі з обваленими пустими породами, що вміщують рудний масив [10]. Дискретне середовище для кожного досліду в модель укладалось з різними показниками щільності по висоті ($K_p=1,1-1,4$), імітуючи вибухову відбійку рудного масиву різної міцності на компенсаційний простір об'ємом 25%. У ході моделювання також змінювались: інтенсивність випуску руди через випускні отвори у межах від 0,5 до 12 т/м² за добу з інтервалом у 0,5; кількість випускних отворів змінювалась одиночним інтервалом від 1 до 4, з яких здійснюється випуск рівномірними дозами з приблизно однаковою періодичністю; об'ємна вага обвалених пустих порід, які вміщують рудний масив в межах від 2,0 до 2,7 т/м³ (зі сталими показниками (т/м³): 2,0; 2,2; 2,5; 2,7).

Викладення матеріалу та результати. Одна зі стадій моделювання представлена на рис. 1.

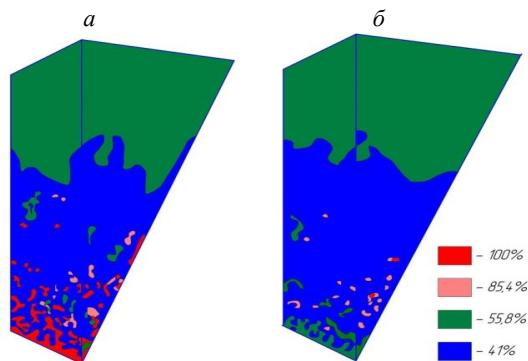


Рис. 1. Моделювання випуску руди з моделі за умов однакової інтенсивності технологічного процесу випуску: *a* – з кожного випускного отвору по черзі рівномірними дозами (рівномірно-послідовний режим випуску); *б* – рівномірними дозами з чотирьох випускних отворів, які лежать на одній осі, з приблизно однаковою періодичністю (лінійно-почерговий режим випуску)

Результати проведеного моделювання представлені на рис. 2 і 3 у вигляді графіків залежності зміни величини тиску в межах фігури випуску для різних видів контактів (еквівалентної ширини) очисної панелі з обваленими пустими породами і об'ємної ваги обвалених пустих порід.

За даними проведеного моделювання отримані аналітичні вирази залежності величини тиску в межах фігури випуску від інтенсивності протікання технологічного процесу випуску, еквівалентної ширини очисної панелі і об'ємної ваги обвалених порід, які вміщують рудний масив, МПа:

для $6 < I \leq 12$ т/м² за добу

$$P = 0,9793^I \cdot 1,0351^{A_e} \cdot 1,5347^{\gamma_n} \cdot 0,1973, \quad (1)$$

детермінований коефіцієнт $R^2 = 0,9910$

для $1,5 < I \leq 6$ т/м² за добу

$$P = 0,9726^I \cdot 1,0351^{A_e} \cdot 1,5347^{\gamma_n} \cdot 0,2715, \quad (2)$$

детермінований коефіцієнт $R^2 = 0,9878$

для $0,5 < I \leq 1,5$ т/м² за добу

$$P = 0,5927^I \cdot 1,0351^{A_e} \cdot 1,5347^{\gamma_n} \cdot 0,5582, \quad (2)$$

детермінований коефіцієнт $R^2 = 0,9926$,

де I – інтенсивність технологічного процесу випуску рудної маси, т/м² за добу; A_e – еквівалентна ширина очисної панелі, м; γ_n – об'ємна вага обвалених порід, що вміщують масив, т/м³.

Таким чином з аналізу отриманих виразів (1-3) встановлено, що тиск у межах фігури випуску знаходиться у логарифмічній залежності від інтенсивності технологічного процесу випуску рудної маси, еквівалентної ширини очисної панелі і об'ємної ваги обвалених пустих порід, що вміщують рудний масив.

Але так як вертикальна складова напружень в елементарному об'ємі рудного масиву на різній глибині для умов Кривбасу має різне числове значення [34], а математичні вирази (1-3) були отримані для умов II класу розробки покладу потужністю 25 м на глибині 1400 м, то для умов, коли рудний поклад потужністю від 10 до 90 м відпрацьовується в діапазоні глибини від 1200 до 1500 м, величину тиску обвалених порід на верхній межі підповерху, на основі переводу графічного матеріалу в числовий масив, можна описати виразом, МПа:

$$P_{B(III)} = 1,0093^m \cdot 1,00046^H \cdot 3,6635, \quad (4)$$

детермінований коефіцієнт $R^2 = 0,9999$

де m – потужність рудного покладу, м; H – глибина ведення очисних робіт, м.

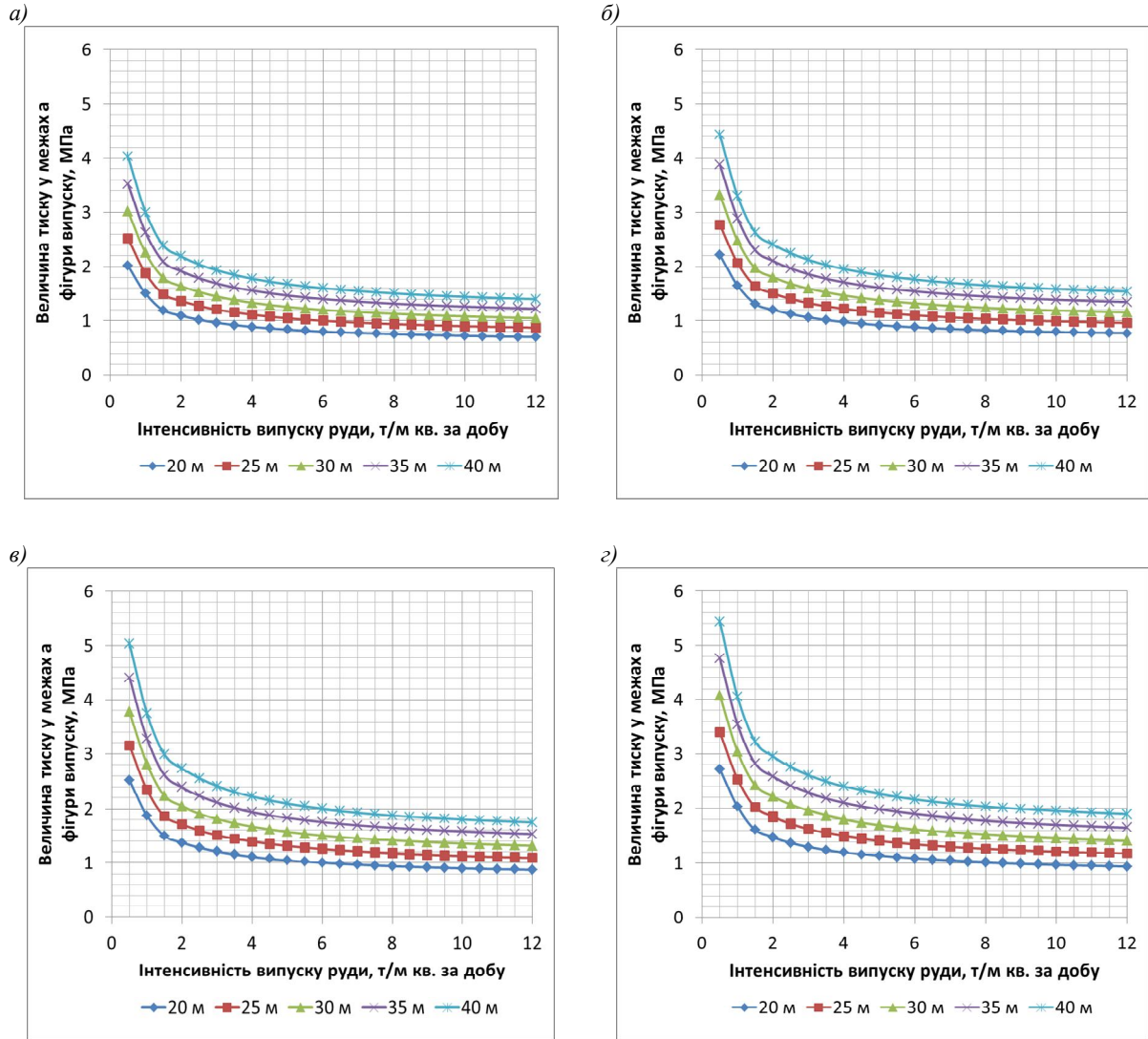
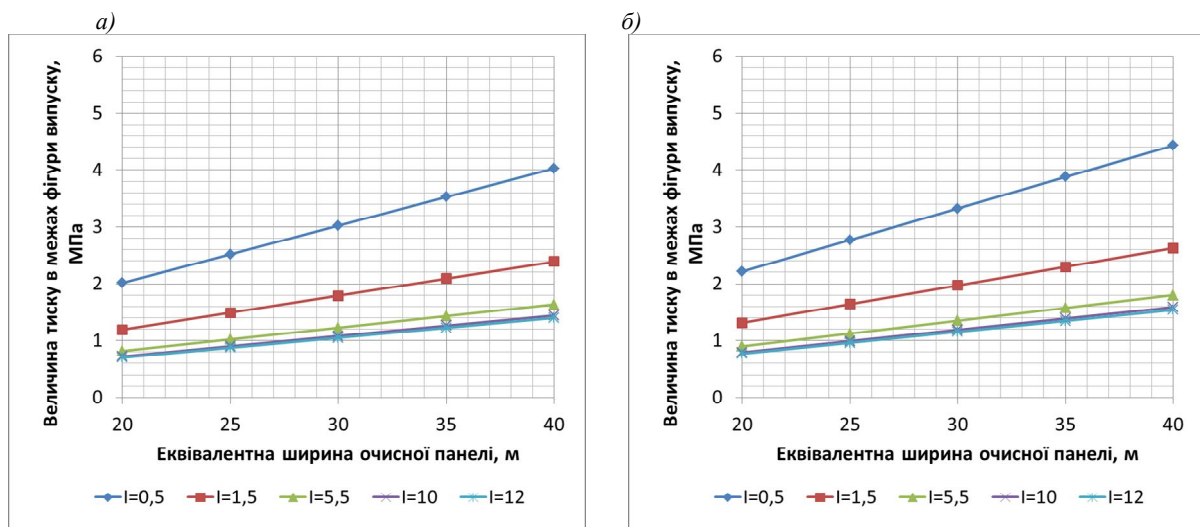
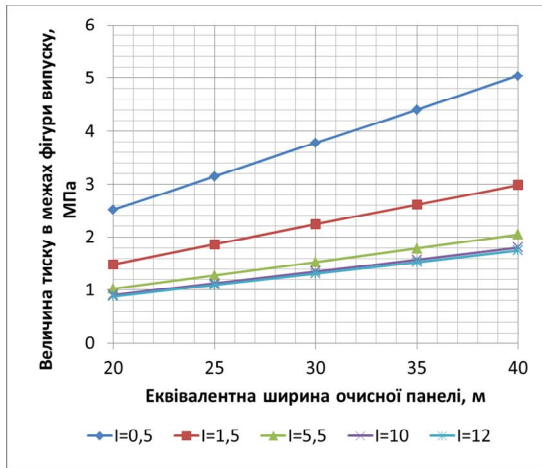


Рис. 2. Графіки залежності зміни величини тиску в межах фігури випуску від інтенсивності технологічного процесу випуску руди для різної еквівалентної ширини очисної панелі: *а* – об’ємна вага пустих обвалених порід становить 2,0 т/м³; *б* – об’ємна вага пустих обвалених порід становить 2,2 т/м³; *в* – об’ємна вага пустих обвалених порід становить 2,5 т/м³; *г* – об’ємна вага пустих обвалених порід становить 2,7 т/м³



в)



з)

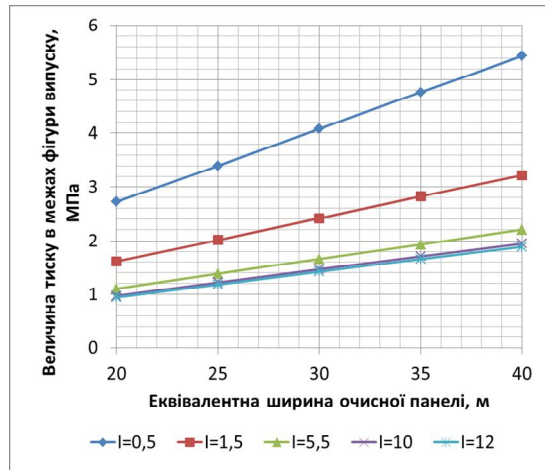


Рис. 3. Графіки залежності зміни величини тиску в межах фігури випуску від еквівалентної ширини очисної панелі для різної інтенсивності технологічного процесу випуску руди: а – об'ємна вага пустих обвалених порід становить 2,0 т/м³; б – об'ємна вага пустих обвалених порід становить 2,2 т/м³; в – об'ємна вага пустих обвалених порід становить 2,5 т/м³; г – об'ємна вага пустих обвалених порід становить 2,7 т/м³

Тоді коефіцієнт, який враховує відношення тиску на різній глибині буде розраховуватись за виразом, част. од.

$$K_1 = \frac{1,009336^m \cdot 1,000462^H \cdot 0,45522}{0,87}, \quad (5)$$

Таким чином виведені наступні математичні вирази, МПа:

для $6 < I \leq 12$ т/м² за добу

$$P = \frac{0,9793^I \cdot 1,0351^{A_e} \cdot 1,5347^{\gamma_n} \cdot 0,1973 \cdot K_1}{K_2}, \quad (6)$$

для $1,5 < I \leq 6$ т/м² за добу

$$P = \frac{0,9726^I \cdot 1,0351^{A_e} \cdot 1,5347^{\gamma_n} \cdot 0,2715 \cdot K_1}{K_2}, \quad (7)$$

для $0,5 < I \leq 1,5$ т/м² за добу

$$P = \frac{0,5927^I \cdot 1,0351^{A_e} \cdot 1,5347^{\gamma_n} \cdot 0,5582 \cdot K_1}{K_2}, \quad (8)$$

де I – інтенсивність технологічного процесу випуску рудної маси, т/м² за добу; A_e – еквівалентна ширина очисної панелі, м; γ_n – об'ємна вага обвалених порід, що вміщують рудний масив, т/м³; K_1 – коефіцієнт, який враховує зміну тиску в залежності від потужності рудного покладу та глибини ведення очисних робіт, част. од; K_2 – коефіцієнт, який враховує клас розробки покладу ($K_2 = 0,8$ – III клас розробки покладу; $K_2 = 1$ – II клас розробки покладу, $K_2 = 1,6$ – I клас розробки покладу), част. од.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Проведене моделювання дало змогу встановити той факт, що у момент початку витікання з випускного отвору сипкий матеріал змінює свої механічні властивості. Ці явища супроводжуються змінами статичного тиску, який встановлюється перед початком випуску сипкого матеріалу. Також встановлено, що навантаження на днище залежать від глибини ведення очисних робіт, положення очисної панелі відносно потужності рудного покладу та кількості контактів з обваленими породами, що описується еквівалентною шириною очисної панелі, і змінюється в процесі випуску. Так як у процесі випуску над випускним отвором, з якого проводиться випуск, утворюється зона розпушення, в результаті чого тиск в цій зоні знижується. Розмір зони розпушення пов'язаний з розмірами фігури випуску і збільшується в залежності від кількості випускних виробок з яких одночасно здійснюється випуск, але величина тиску в цій зоні залишається сталою.

У ході проведених досліджень було встановлено, що величина тиску у межах фігури випуску знаходиться у прямій пропорційній логарифмічній залежності від інтенсивності протікання технологічного процесу випуску, еквівалентної ширини очисної панелі, об'ємної ваги обвалених пустих порід, які вміщують рудний масив, потужності рудного покладу, глибини ведення очисних робіт і оберненій пропорційній залежності від класу розробки покладу, а область зони пониження тиску у процесі випуску рудної маси знаходиться у пропорційній залежності від інтенсивності його протікання і кількості випускних виробок з яких одночасно здійснюється випуск. Що дасть можливість проводити прогностичні розрахунки показників вилучення руди у діапазоні інтенсивності протікання технологічного процесу випуску в межах від 1,5 до 12 т/м² за добу у разі застосування високопродуктивної самохідної навантажувально-доставочної техніки у процесі розробки покладів природно-багатих залізних руд технологією підповерхового обвалення на великих глибинах.

Список літератури

1. Инструкция по нормированию, прогнозированию и учету показателей извлечения руды из недр при подземной разработке железорудных месторождений. / Азарян А. А., Колосов В. А., Моргун А. В. [и др.] – Кривой Рог: Минерал, 2012. – 135 с.
2. 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.
3. Черненко А. Р. Подземная добыча богатых железных руд / А. Р. Черненко, В. А. Черненко. – М.: Недра, 1992. – 224 с.
4. Brown E. T. Block Caving Geomechanics / E. T. Brown. – Queensland, 2002. – 515 p.
5. Vidyapati Vidyapati. Constitutive modeling of dense granular flow based on discrete element method simulations: a thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy / Vidyapati Vidyapati. – Iowa, Iowa State University, 2012. – 168 p.
6. Matthew Edward Pierce. A model for gravity flow of fragmented rock in block caving mines: a thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy / Matthew Edward Pierce. – Queensland, 2010. – 63 p.
7. Michael Ivan Kosowan. Design and Operational Issues for Increasing Sublevel Cave Intervals at Stobie Mine: a thesis submitted to the School of Mining Engineering in conformity with the requirements for the degree of Master of Applied Science / Michael Ivan Kosowan. – Ontario, 1999. – 143 p.
8. Castro R. L. Determination of drawpoint spacing in panel caving: a case study at the El Teniente Mine / Castro R. L., Vargas R., F. de la Huerta // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2012. – volume 112. – Pp. 871-876.
9. Применение метода дискретных элементов для моделирования процессов в горно-металлургической промышленности // Феоктистов А. Ю., Каменецкий А. А., Блехман Л. И. [и др.] // Записки Горного института. – 2011. – Т.192 – С. 145-149.
10. Визначення та контроль допустимих розмірів конструктивних елементів систем розробки залізних руд / Є. К. Бабец, С. В. Сиротюк, В. В. Царіковський [та ін.] – К.: Мінпромполітики, 2010. – 121 с.

Рукопис подано до редакції 11.04.2018

УДК 622.271.0123.004.15

С. А. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., Криворожский национальный университет
А.Н. КОСТЯНСКИЙ, канд техн. наук, НИГРИ, Криворожский национальный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ЭТАПА ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КАРЬЕРА ПРИ РАЗРАБОТКЕ НАКЛОННЫХ И КРУТЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

Цель. Определение глубины следующего этапа отработки железорудного карьера при разработке наклонных и крутых залежей с учетом влияния его основных параметров с помощью предложенного показателя, а также последующий анализ полученных результатов расчета.

Методы исследования. Анализ и обобщение литературных источников, а также ранее выполненных исследований. Системный подход к учету влияющих факторов на основе изучения количественных зависимостей и применения аналитических методов исследования при решении аналогичных задач позволил проводить обработку и интерпретацию полученной информации при определении глубины следующего этапа отработки карьера. С использованием аналитико-математического метода установлен показатель для достоверной оценки и технико-экономического сравнения расчетных параметров карьера при обосновании глубины дальнейшего этапа его разработки.

Научная новизна. При установлении аналитической зависимости оценочного показателя для обоснования экономичности следующей очереди углубки действующего железорудного карьера, в качестве которого принимается величина эксплуатационного коэффициента вскрыши, наряду с наиболее значимыми технико-экономическими показателями товарной продукции, учитывается также качество добываемой руды выраженное содержанием железа

соответствующим глубине рассматриваемого этапа отработки карьера. При этом анализ изменения коэффициента вскрыши от содержания железа в руде показывает, что данная функция характеризуется линейной зависимостью, что позволяет прогнозировать данный показатель на будущие периоды

Практическое значение. Определение эксплуатационного коэффициента вскрыши для установления глубины данного этапа развития карьера при разработке наклонных и крутых залежей на основе приведенных аналитических зависимостей, несмотря на то, что аналитический расчет глубины карьера считается приближенным, облегчает решение этой задачи по сравнению с графическим, графоаналитическим методами или методом сравнения вариантов. Оценка технических решений на основе данного показателя и установленных зависимостей поможет обосновать экономичность и рациональность решения по дальнейшей разработке карьера с учетом качества руды.

Результаты. В работе показана возможность использования полученных зависимостей при добыче железных руд применительно к конкретным горно-техническим условиям на примере карьера ИнГОКа. Прогнозируется падение производительности карьера по неокисленной руде, если при его дальнейшей отработке не будет заранее подготовлена компенсация выбытия фронта работ по руде, особенно в его южной части. Оценка технических решений на основе показателя и установленных зависимостей поможет обосновать экономичность и рациональность решений по дальнейшей разработке карьера с учетом качества руды.

Ключевые слова: глубина карьера, аналитический метод, коэффициент вскрыши

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-96-102

Проблема и ее связь с основными научными и практическими заданиями. Основной технологической целью горнодобывающего предприятия с открытым способом разработки является обеспечение безубыточной добычи руды в карьере в границах установленных контуров до его конечной глубины. В то же время применение известных методов не всегда решает задачи перспективного развития открытых горных работ при разработке наклонных и крутых залежей, принимая во внимание, что до настоящего времени для значительной части карьеров отсутствуют окончательные технические решения на весь период отработки из-за неопределенности в связи с предельной глубиной отработки месторождения.

Анализ исследований и публикаций. В процессе отработки карьерного поля положение рабочего борта карьера постоянно меняется, дно понижается, что приводит к необходимости реконструкции карьера для вовлечения в переработку дополнительных запасов руды.

Перспективы развития открытого способа разработки полезных ископаемых определяются, прежде всего, горно-геологическими условиями месторождения. Как известно, процесс разработки наклонных и крутопадающих железорудных месторождений закономерно приводит к увеличению глубины карьера, росту объемов вскрышных пород, вызывает постоянное возрастание текущего коэффициента вскрыши. Основной объем выемки горной массы на таких карьерах в ближайшие десятилетия будет производиться с более глубоких горизонтов, что в итоге увеличивает расстояние ее доставки. На фоне ухудшающихся условий разработки нижних горизонтов железорудных карьеров, усугубляется их главная проблема – транспортная.

При этом эффективность открытого способа при совокупном учете условий разработки минеральных ресурсов, зависит от правильности и обоснованности проектных решений, что имеет большое значение, поскольку производительность современных железорудных карьеров может превышать 30 млн. т/год.

В период эксплуатации карьера разрабатываемого наклонные и крутые залежи в результате постоянного роста его глубины сопровождающегося удорожанием доставки горной массы, после достижения допустимой себестоимости добычи полезного ископаемого часто возникает вопрос о целесообразности проектирования следующего этапа его углубки. При этом возрастание расстояния перевозки в сочетании с другими негативными факторами приводит к неизбежному увеличению себестоимости добываемой руды, удорожает товарную продукцию и ухудшает ее конкурентоспособность. Это противоречие диктует необходимость совершенствования методического подхода к определению глубины очередного этапа разработки действующих железорудных карьеров, поскольку в последнее время все чаще возникает вопрос об обосновании целесообразности следующего этапа их углубки.

Во многом параметры карьера зависят от его конечной глубины [1- 7]. Эта величина определяется в настоящее время существующими методами установления границ карьеров [2-8], среди которых в горной науке получил распространение аналитический метод. При этом на размер карьера оказывает влияние такой параметр, как величина углов откосов бортов карьера, которая зависит не только от глубины карьера, но и от физико-механических свойств слагающих его борта пород, условий их залегания, и в большинстве случаев может изменяться в диа-

пазоне от 30° до 45° . Следует отметить, что с расширением границ карьера увеличивается коэффициент вскрыши, возрастает коэффициент горной массы, может ухудшиться качество сырой руды, что в целом приведет к снижению качества и соответственно цены концентрата.

Постановка задачи. В этой связи, при установлении глубины очередного этапа открытых работ целесообразно учитывать качество руды, которое в значительной мере определяет эффективность технологии процессов добычи, переработки: сортировки, дробления и обогащения на ГОКе с получением товарной продукции.

Изложение материала и результаты. Проблема рациональной глубины особенно актуальна для крупных железорудных карьеров, так как допущенные отклонения ухудшают технико-экономические показатели добычи полезного ископаемого и производства товарной продукции.

Рассмотрим определение глубины карьера на примере крутопадающей залежи с использованием аналитической зависимости, в которой в качестве исходных данных будет учитываться показатель качества руды.

Увеличение глубины карьера, разрабатывающего крутую залежь, вызывает постоянное возрастание текущего коэффициента вскрыши – K_m . При достижении некоторой промежуточной глубины H_n значение текущего коэффициента вскрыши (K_m) станет равным граничному, т.е. $K_m = K_c$. Ориентировочная глубина карьера [9] в конкретных условиях в период эксплуатации, когда рабочие борта карьера подойдут к верхним проектным контурам находится по формуле, м

$$H_n = \frac{H_c \cdot (ctg\beta + ctg\gamma) + d_2 - d_1}{ctg\alpha + ctg\theta}, \quad (1)$$

где H_c – конечная глубина карьера, м; β, γ – соответственно углы откосов нерабочих бортов карьера со стороны лежачего и висячего боков залежи, град.; α, θ – углы откоса рабочих бортов карьера со стороны лежачего и висячего боков залежи, град.; d_1 – ширина дна карьера в рабочем положении, м; d_2 – ширина проектного дна карьера, м.

При дальнейшем увеличении глубины карьера, экономическая целесообразность открытых горных работ обеспечивается без увеличения текущего коэффициента вскрыши и без дальнейшего расширения верхнего контура карьера на поверхности, т.е. при работе в границах последнего. При этом горные работы на верхних уступах по мере углубки карьера последовательно прекращаются, углы откоса рабочих бортов α, θ постепенно увеличиваются и при глубине карьера H_c достигают значения угла погашения, который соответствует конечной глубине карьера.

Как известно, классически установление конечных контуров карьера определяется величиной граничного коэффициента вскрыши на основе сопоставления удельных стоимостных показателей подземного и открытого способов разработки полезного ископаемого или по допустимой себестоимости добычи исходя из заключительных затрат на единицу товарной продукции, выходу ее из сырой руды и затрат на обогащение [1]. После достижения допустимой себестоимости добычи полезного ископаемого, как правило, рассматривается вопрос о целесообразности следующего этапа углубки карьера.

В расчетах, для решения главных вопросов проектирования и определения конечной глубины карьера широко применяется метод В.В. Ржевского [10-12], в котором при определении глубины карьера используется принцип, основанный на сопоставлении текущего и граничного коэффициентов вскрыши, м³/т

$$K_m \leq K_c, \quad (2)$$

где K_c – граничный или экономически целесообразный коэффициент вскрыши. К этой же формуле пришел другой ученый [13].

Очевидно, что показатели (K_c, K_m) определяемые на основе принятых к расчету параметров карьера, являются одними из важнейших при установлении глубины открытых работ. Однако для обоснования контуров очередного этапа углубки железорудного карьера, в том числе с помощью экономически целесообразного коэффициента вскрыши, рекомендуется учитывать качество руды, которое характеризуется содержанием магнитного железа.

Для оценки экономичности следующей очереди углубки карьера установим формулу, определяющую оценочный показатель с учетом величины допустимого [14] содержания железа [15] в руде, который найдет применение для обоснования последующих этапов углубки и расширения карьера.

Воспользуемся известной зависимостью, определяющей величину предельного коэффициента вскрыши с учетом влияния показателей качества руды [15] для месторождений, разработка которых подземным способом исключается, м³/т

$$K_m = \frac{(\alpha_\phi - \alpha_{np.min}) \cdot U_k \cdot K_u \cdot K_o}{C_\phi \cdot 100}, \quad (3)$$

где α_ϕ – фактическое содержание магнитного железа в руде, %; $\alpha_{np.min}$ – минимальное промышленное содержание железа в руде, %; U_k – цена концентрата, грн./т; K_u – коэффициент извлечения железа из руды при обогащении, доли ед.; K_o – коэффициент извлечения руды при добыче (с учетом потерь и разубоживание), доли ед.; C_ϕ – себестоимость 1 м³ вскрышных пород.

В работах [16-18], величина максимального коэффициента вскрыши определяется с помощью аналитической зависимости, м³/т

$$K_3 = \frac{[(U_k - C_k) \cdot \gamma - \Delta Z_{mp.}] \cdot (1 - i)}{C_\phi} + K_m, \quad (4)$$

где C_k – себестоимость товарной продукции (концентрата) горнодобывающего предприятия грн./т; γ – выход концентрата из руды, доли ед.; K_m – текущий коэффициент вскрыши за последний год работы карьера, м³/т; $\Delta Z_{mp.}$ – увеличение транспортных затрат при углубке карьера, грн./т; i – налог на прибыль, доли ед.

Из уравнения (3) найдем выражение, определяющее U_k и подставим его в формулу (4). После преобразований получим новую зависимость, определяющую величину экономически целесообразного коэффициента вскрыши с учетом содержания железа в руде, без учета цены товарной продукции, м³/т

$$K_3 = \frac{(\alpha_\phi - \alpha_{np.min}) \cdot [(C_k \cdot \gamma + \Delta Z_{mp.}) \cdot (1 - i) - K_m \cdot C_\phi] \cdot K_u \cdot K_o}{C_\phi \cdot [100 \cdot (1 - i) \cdot \gamma - (\alpha_\phi - \alpha_{np.min}) \cdot K_u \cdot K_o]}. \quad (5)$$

В полученной зависимости (5) при определении максимального расчетного эксплуатационного коэффициента вскрыши (K_3), как показателя обосновывающего экономичность следующей очереди углубки карьера, учитывается содержание железа в руде, но исключается цена товарной продукции ГОКа, тем самым уменьшая влияние субъективного рыночного фактора на величину оценочного показателя.

Большинство железорудных карьеров для доставки горной массы с нижних горизонтов обычно используют комбинированный транспорт, где в качестве магистрального применяют конвейерные подъемники. При этом на карьерах Кривбасса, кроме карьеров ЦГОКа, для транспортировки руды применяют комбинированный автомобильно-конвейерный транспорт.

Рассмотрим условный карьер (рис. 1), где размещен перегрузочный пункт (ПП- №1) конвейерного подъемника. При расширении и углубке карьера до проектного контура конвейерный подъемник удлиняется и сооружается на нижележащем горизонте второй перегрузочный пункт- (ПП- №2). Как следует из рис.1, в исходном положении карьера при глубине H_m , вынутые объемы горной массы доставляют на ПП №1 с высотой подъема автотранспортом h_{a1} , а при понижении дна карьера до глубины проектного контура (H_z) объемы горной массы доставляют на ПП №2 с высотой подъема h_{a2} . С учетом необходимости сохранения рациональной высоты подъема технологического автотранспорта, как более дорогого вида, удорожание транспортирования горной массы ΔZ_{mp} произойдет за счет удлинения конвейерного подъемника, которое будет пропорционально увеличению высоты подъема транспортируемой горной массы. Тогда в соответствии с рис.1 величина ΔZ_{mp} находится по формуле (данные по карьере ИнГОКа за 2008-2009 г.), грн./т

$$\Delta Z_{mp} = \frac{(H_z - H_m - h_{a2} + h_{a1}) \cdot c_{к.н.}}{1000 \cdot \sin \beta} = \frac{(600 - 450 - 90 + 110) \cdot 2,0}{1000 \cdot 0,2419} = 1,5, \quad (6)$$

где H_m – текущая глубина карьера, м; h_{a1} – высота рабочей зоны обслуживаемой автотранспортом в настоящее время, м; h_{a2} – то же при достижении карьером проектной глубины, м; β – максимальный угол наклона конвейерного подъемника, град.; $c_{к.н.}$ – себестоимость перевозки 1 т·км горной массы конвейерным подъемником, грн.

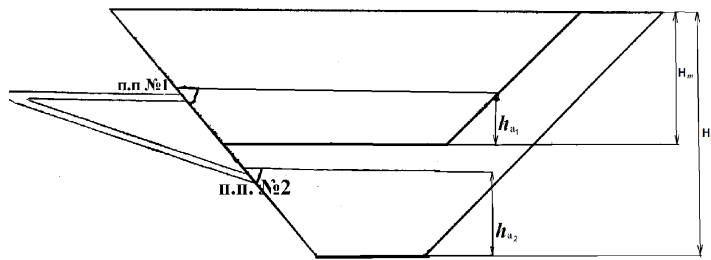


Рис. 1. Схема к расчету затрат от удлинения конвейерного подъемника при углубке карьера

Определим показатель K_3 в условиях приближенных к карьере ИнГОКа. Согласно формуле (5) показатель рассчитанный по данным за 2009 г. [19] равен, $\text{м}^3/\text{т}$

$$K_3 = \frac{(23,6 - 14) \cdot [(210 \cdot 0,4 + 1,5) \cdot (1 - 0,18) - 0,4 \cdot 35] \cdot 0,9 \cdot 0,985}{[100 \cdot (1 - 0,18) \cdot 0,4 - (23,6 - 14) \cdot 0,9 \cdot 0,985] \cdot 35} = 0,56 \quad (7)$$

Как видно из приведенного выражения (5) на величину K_3 кроме прочих параметров оказывает влияние a_{ϕ} и $a_{\text{пр.мин}}$. Анализ графиков функции $K_3 = f(a_{\phi}; a_{\text{пр.мин}})$ (рис.2) показывает, что она характеризуется линейной зависимостью, которая позволит при необходимости прогнозировать данный показатель на будущие периоды.

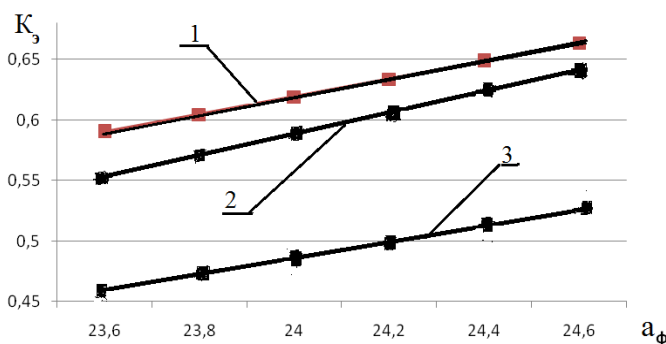


Рис. 2. Зависимость величины K_3 ($\text{м}^3/\text{т}$) от содержания магнитного железа: 1 - при $a_{\text{пр.мин}}=13\%$; 2 - при $a_{\text{пр.мин}}=14\%$; 3 - при $a_{\text{пр.мин}}=15\%$

Ингулецкий ГОК имеет самые сложные по сравнению с остальными комбинатами геологические условия. Несмотря на это, расширение территории разработки месторождения ИнГОК позволит поддерживать производительность ГОКа еще на 50-60 лет [20] с одновременным

увеличением коэффициента вскрыши. Перспективные параметры карьера будут составлять: протяженность более 6 км, ширина – порядка 3,5 км, а глубина карьера через три-четыре десятилетия может достигнуть 650 м. В предстоящие годы будет обостряться проблема поддержания производственных мощностей карьера ИнГОК по условиям нарастающих ограничений по горно-техническим возможностям, а его эксплуатация в существующих проектных контурах может привести к выбытию производственной мощности. Данное утверждение базируется на исследованиях специалистов НИГРИ (в настоящее время НИГРИ ГВУЗ «КНУ») по вопросам выбора направления развития горных работ в НИР «Установление режима горных работ и разработка календарных планов развития карьера ОАО «ИнГОК» до 2020 г.», где определены оптимальные параметры системы разработки и другие технологические решения. В работе доказана реальная возможность существенного падения достигнутой производительности карьера по неокисленной руде, если не будет скорректирован режим горных работ и заранее не подготовлена компенсация выбытия фронта работ по руде. В этой связи планируется северным бортом Ингулецкого карьера выходить за проектные границы существующего карьера. В то же время на карьере производились горные работы по развитию его юго-восточного борта и в северном направлении.

При поиске рационального режима горных работ ориентировочно определен критический период для карьера ИнГОК, что указано в упомянутом отчете НИР по установлению режима горных работ. На основе результатов НИР институтом «Кривбасспроект» было выполнено ТЭО расширения перспективных границ карьера ИнГОК.

За рассмотренный период (2009 г.) текущий коэффициент вскрыши карьера ИнГОК был $0,4 \text{ м}^3/\text{т}$ [19], а расчетная величина экономически целесообразного коэффициента вскрыши равна $K_3 = 0,56 \text{ м}^3/\text{т}$ (7). При этом может быть использован принцип (2), согласно которому при дальнейшей отработке карьера величина текущего коэффициента вскрыши не должна превышать величину K_3 , т.е. $K_m \leq K_3$. В рассмотренном случае условие безубыточности соблюдается, т.к. $K_m = 0,4 \leq K_3 = 0,56 \text{ м}^3/\text{т}$. Это показывает, что на данном этапе дальнейшая эксплуатация карьера ИнГОК обеспечит безубыточность производства товарной продукции.

Таким образом, полученная зависимость позволяет установить величину оценочного пока-

зателя (эксплуатационного коэффициента вскрыши- K_v) для обоснования целесообразности дальнейшего этапа углубки карьера с учетом качества руды и удорожания ее транспортирования при понижении горных работ в карьере. При этом, следует отметить, что различные варианты глубины отработки карьера требуют различающихся между собой параметров схемы вскрытия, объемов транспортирования вскрышных пород, емкости отвалов и т. д.

Выводы. Оценка технических решений с помощью предложенного показателя поможет обосновать экономичность и рациональность решения по выбору глубины дальнейшего этапа разработки железорудного карьера с учетом качества руды, но без влияния рыночного субъективного фактора. Предлагаемый методический подход учитывает минимальное количество необходимых параметров характеризующих работу карьера и может применяться при проектировании горнорудных предприятий осуществляющих разработку железорудных месторождений открытым способом. Хотя аналитический расчет глубины карьера является приближенным, он облегчает решение этой задачи графическим, графоаналитическим методами или методом сравнения вариантов.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на выявление закономерных связей между различными технико-экономическими показателями отработки для совершенствования оценки долговременных периодов эксплуатации карьера и планирования следующих очередей углубки в соответствии с запасами полезного ископаемого.

Список литературы

1. Норми технологичного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Міністерство промислової політики України. – К.: 2007. – 279 с.
2. **Близнюков В.Г.** Определение главных параметров карьера с учетом качества руды. – М.: Недра, 1978. – 151 с.
3. Отчет о НИР «Определение перспективных границ и производительности карьера Ингулецкого горно-обогатительного комбината» (промежут.). Часть 1, ГП «НИГРИ», Рук. **В.Г. Близнюков.**-№ ГР 0107U005663. – 65 ст.
4. **Близнюков В.Г., Баранов И.В.** Наука в решении проблем горнорудной отрасли/ В.Г. Близнюков., И.В. Баранов Геотехнические проблемы комплексного освоения недр. Сборник научных трудов. Выпуск 4 (94). Екатеринбург, 2008 г. Российская академия наук. Уральское отделение. Институт горного дела. (ИГД), ст.75-81.
5. **Шешко Е.Ф.** Открытая разработка месторождений полезных ископаемых.-М.: Углетехиздат. 1951.-562 с.
6. Теория и практика открытых разработок./ **Н.В.Мельников, А.И.Арсентьев** и др. – М.: Недра, 1979. – 630 с.
7. Горное дело /**Ю.П. Астафьев, В.Г. Близнюков** и др.// – М.: «Недра»,1980. – 367 с.
8. **Близнюков В.Г., Вилкул Ю.Г., Ковальчук В.А.** Критерий эколого-экономической оценки деятельности горных предприятий / **В.Г. Близнюков, Ю.Г. Вилкул, В.А. Ковальчук**//Разработка рудных месторождений. Республиканский межведомственный научно-технический сборник. Вып. 54. Кривой Рог. 1993. – С.3-8.
9. **Костянский А. Н.** Определение глубины перехода от открытых горных работ к подземным при доработке месторождения / А. Н. Костянский, В. И. Чепурной, Б. Е. Яценко // Форум гірників – 2013: матеріали міжнар. конф., 2-5 жовтня 2013 р.- Дніпропетровськ, 2013. – Т.1. – С. 140-144.
10. **Арсентьев А.И.** Определение производительности и границ карьера. Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу. М. 1961, 242 с.
11. **Ржевский В.В.** Исследование режима горных работ карьера. Автореферат. М., 1955.
12. **Ржевский В.В.** Проектирование контуров карьеров. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии. 1956. – 229 с.
13. **Ван Чжень-шань.** Определение производственной мощности карьера. Шеньян. 1956. Шеньянский угольный проектный институт КНР (на китайском языке).
14. Горная энциклопедия. В пяти томах. Москва. Издательство: Советская энциклопедия. – 1984-1991г. – 2900 с.
15. **Погребницкий Е.О., Терновой В.И.** / Геолого- экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. Ленинград. «Недра». Ленинградское отделение. 1974. – 302 с.
16. **Костянский А.Н., Мельникова И.Е.** Влияние качества руды на величину экономически целесообразного коэффициента вскрыши / **А.Н. Костянский, И.Е. Мельникова**// Качество минерального сырья. Сб. научн. трудов, АГНУ КТУ.- Кривой Рог. КТУ. – 2011. – С. 342-346.
17. **Костянский А.Н.** Прогнозирование эксплуатационного коэффициента вскрыши в условиях работы глубоких железорудных карьеров. / **А.Н. Костянский** // Форум гірників. Матеріали міжнародної конференції 13-15 жовтня 2008 р. Національний гірничий університет. Дніпропетровськ. 2008, С.173-177.
18. **Романенко А.В., Костянский А.Н.** Максимальный текущий коэффициент вскрыши как показатель для оценки периодов отработки глубоких карьеров./ **А.В. Романенко, А.Н. Костянский** //Збірник наукових праць за результатами роботи Міжнародної науково-технічної конференції (Кривий Ріг, 22-23 квітня 2011 р.). ДП «НДГРІ». С. 41-42.
19. Технико-экономические показатели горнодобывающих предприятий Украины в 2008-2009 г., ГП «НИГРИ», Кривой Рог, 154 стр.
20. ИнГОК намерен расширять границы карьера и увеличивать производство. // Источник: <http://ukmadra.net/news/470.html>//Ассоциация недропользователей Украины. Geonews.com.ua

Рукопись поступила в редакцию 12.04.2018

О.В. ДОЛГІХ, Л.В. ДОЛГІХ, кандидати техн. наук, доценти
Криворізький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ СПОСТЕРЕЖНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ТА БУДІВЕЛЬ, РОЗТАШОВАНИХ ПОБЛИЗУ ЗОНИ ПРОВАЛЛЯ

Мета. Метою роботи є дослідження об'єкту шляхом виконання маркшейдерсько-геодезичних спостережень для отримання вихідних даних (інформації) для прийняття оптимальних рішень по захисту дитячого закладу від можливого шкідливого впливу гірничих робіт.

Методи дослідження. Розглядається питання дослідження й аналізу результатів спостереження за деформаціями земної поверхні та будівлі, розташованої поблизу зони зрушень, яка виникла внаслідок підземних гірничих робіт. Для вирішення задачі запропоновано використання класичного способу спостереження за процесами зсуву земної поверхні, зі створенням спостережної станції, але удосконаливши методику виконання вимірів за рахунок впровадження сучасних приладів. Існуюча спостережна станція на території шахти ім. Орджонікідзе була збільшена дванадцятьма реперами на ділянці дитячого закладу. Додаткова інформація по цій ділянці необхідна для отримання найбільш повної характеристики про стан будівлі дитячого закладу, розташованої поблизу небезпечної зони.

Наукова новизна. Інструментальні вимірювальні роботи виконувалися з використанням сучасних приладів – електронного тахеометра, нівеліра та GPS. Зроблено оцінку точності вимірів та аналіз результатів опрацювання даних. Для підтвердження сталого положення реперів чи, навпаки, їх зрушень, використовувався критерій Аббе. В роботі приділена увага питанню вибору методики визначення векторів зрушення реперів. Вимір ординат та визначення векторів зрушення для кожного конкретного випадку передбачено при складанні проекту спостережень. Відомо, що у випадку значної ламаності профілю, визначення векторів зрушення реперів профільної лінії в плані виконується полярним способом або прокладання теодолітного ходу, в роботі використано друге.

Практична значимість. За різницею координат репера з початкової та наступної серії спостережень визначені лінійна величина та дирекційний кут вектора зрушення в плані. Значення повного вектора зрушення розраховано за обчисленими величинами осідання й ординатами або векторами зрушення. Вимірювання ординат реперів й визначення векторів зрушення в плані виконувалося двічі, в прямому й зворотному напрямках.

Результати. Результати досліджень дають достатню характеристику реперів, розташованих на досліджуваній території, для прийняття рішення про подальше використання дитячого закладу.

Ключові слова: деформації, репери, сучасні прилади, спостережна станція, вектор зрушення.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-102-106

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Важливою проблемою в маркшейдерії є своєчасне запобігання негативним проявам на денній поверхні впливу підземних гірничих робіт. Одним з класичних методів спостереження за деформаціями денної поверхні та будівель і споруд є метод з використанням спостережних станцій. Відомо, що при цьому способі створюються профільні лінії, які закріплюються на місцевості ґрунтовими та стінними реперами. Визначаються горизонтальні та вертикальні деформації згідно до вимог Інструкції [1]. При використанні способу спостережних станцій, основні величини, які характеризують значення деформацій – нахил, кривизна, розтяг-стиск та осідання, обчислюються за лінійно-кутовими вимірами та вимірами перевищень між реперами профільних ліній [1-4]. Важливою задачею при цьому є вибір місць розташування реперів, адже не завжди є можливість розташувати їх у необхідному місці. Через це класичні методи спостереження за деформаціями постійно потребують удосконалення.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження земної поверхні, стан якої залежить від проведення підземних гірничих робіт, є важливою складовою маркшейдерського забезпечення гірничодобувного підприємства. Підвищенням ефективності цих робіт займаються як вітчизняні вчені, так і інших країн [5-7,9]. Важливим питанням є питання охорони навколишнього середовища, будівель та споруд [8]. Особлива увага в дослідженнях приділяється вибору методу прогнозування подальшого стану досліджуваної ділянки [10-12], вибору ефективного способу виконання робіт з визначення величин горизонтальних та вертикальних деформацій, з вибору сучасних приладів [13,14].

Постановка задачі. У 2018 році при дослідженні деформацій на території шахти ім. Орджонікідзе були виконані маркшейдерські інструментальні спостереження за зрушенням гірських порід та земної поверхні на території гірничого відводу і прилеглих територіях. Виміри

виконані на ґрунтових та стінних реперах існуючої спостережної станції, яка включає 20 профільних ліній.

Поверхнева спостережна станція, на якій виконані вимірювання у 2018 році, складається з 123 ґрунтових реперів, які представляють собою металеві дроти діаметром 20-30 мм та довжиною 1,3-1,5 м і 60 стінних реперів, закладених в споруду швейної фабрики, будівлю тепломережі, будівлю підстанції та інші споруди промислового майдану. Загальна кількість реперів складає 183.

При виконанні нівелювання реперів використовувався нівелір SETL. Нівелювання по замкнених ходах здійснювалося у одному напрямку, а у розімкнутих – у прямому та зворотному напрямках. Допустима нев'язка у замкнутих і подвійних ходах не перевищувала $15\sqrt{L}$, де L – довжина ходу у км. За результатами зрівнювання нівелірних ходів встановлено, що фактичні нев'язки не перевищують допустимої $f_{доп}$.

Довжини інтервалів між ґрунтовими реперами вимірялися електронним тахеометром SET 630R із середньою квадратичною помилкою $m_s = 2$ мм. Центрування тахеометра здійснювалося за допомогою оптичних центрирів, а центрування відбивача з використанням біподу. Вимірювання довжин ліній здійснювалося у прямому та зворотному напрямках, що забезпечило відносну похибку виміру довжин інтервалів між реперами профільних ліній не грубіше 1:10000. Але для отримання більш повної інформації про безпеку будівель, розташованих на території, наближеної до утвореного провалля, виявилася недостатньою кількість раніше закладених реперів.

Викладення матеріалу та результати. Відповідно до рішення № 11 від 12.07.2018 р. позачергового засідання Криворізької міської комісії з питань техногенної екологічної безпеки та надзвичайної ситуації, було передбачено проведення замірів щодо динаміки зрушення земної поверхні в районі дитячого закладу № 160 по вул. Оренбурзька, 14, Тернівського району. Метою робіт є дослідження об'єкту шляхом виконання маркшейдерсько-геодезичних спостережень для отримання вихідних даних (інформації) для прийняття оптимальних рішень по захисту дитячого закладу від можливого шкідливого впливу гірничих робіт.

Для вирішення поставленої задачі, була додатково створена спостережна станція на території дитячого закладу. Станція складається з 12 ґрунтових реперів, які представляють собою металеві стрижні діаметром 25-30 мм і довжиною від 1300-1500 мм. Частина реперів (2, 4 і 6) закладені поруч із тріщиною, яка утворилася внаслідок техногенної діяльності (рис. 1). Репери 7 і 9 закладені на відстані до 3 метрів від будівлі. Репери 8, 10 та 12 розташовані на території, що знаходиться під впливом техногенної діяльності.



Рис. 1. Розташування реперів спостережної станції на території дитячого закладу

Середня квадратична помилка вимірювань перевищень на станції складала ± 2 мм. Гранична помилка визначення позначки репера меж циклами, з довірчою імовірністю 0,95, у два рази перевищує середню квадратичну помилку і складає $\pm 5,6$ мм. Довжини інтервалів між реперами вимірювалися з помилкою $m_s = \pm 2$ мм. При оцінці точності вимірів прийнято умову рівного впливу погрешностей вимірювання кутів та ліній

$$\frac{m_\beta}{\rho} = \frac{m_s}{S}, \quad (1)$$

де m_β – помилка вимірювання кутів, яка складає $20''$; m_s – помилка вимірювань довжин інтервалів; $\rho = 206265''$.

При використанні двадцятиметрових інтервалів, відносна лінійна помилка складає 1:10000

$$\frac{1}{M} = \frac{m_s}{S}. \quad (2)$$

Після накопичення необхідної кількості даних по реперах спостережної станції, був виконаний їх аналіз. Для визначення стабільності реперів чи навпаки, їх нестабільності, використано послідовні різниці вимірів.

Для ряду спостережень отримані значення X_j ($j=1, 2 \dots k$) та обчислені їхні різниці

$$d_j = X_{j+1} - X_j. \quad (3)$$

Відомо, що середнє квадратичне відхилення однієї такої різниці визначається як

$$m_d = \sqrt{\frac{1}{2(k-1)} \sum_{j=1}^{k-1} d_j^2}, \quad (4)$$

де k – число різниць d_j [15].

Для виявлення порушення стійкості реперів використовується критерій Аббе

$$\delta = \frac{m_d^2}{m_x^2}, \quad (5)$$

де m_x – середня квадратична помилка визначення X_j .

Відомо, що відсутність осідання або зміщення деформаційних реперів характеризується виразом

$$\delta \geq \delta_q. \quad (6)$$

Величини δ_q визначаються з таблиць за рівнем значущості $q = 1 - p$ і кількості різниць вимірів. По кожному реперу складено таблицю виду, як показано по реперу 1 (табл. 1). Результати аналізу сталості положення по всіх реперах наведено в табл. 2.

Таблиця 1

Результати опрацювання даних по реперу 1

Дата виміру	Результати по реперу 1	δ	δ_q $P=0,99$	δ_q $P=0,95$
26.08	122,078	0,10	0,35	0,51
10.09	122,076			
22.09	122,074			
09.10	122,073			
27.10	122,068			
07.11	122,067			
22.11	122,067			
08.12	122,066			
23.12	122,066			

Таблиця 2

Результати аналізу даних по всіх реперах

№ репера	δ	δ_q $P=0,99$	δ_q $P=0,95$
1	0,10	0,35	0,51
2	0,14	0,35	0,51
3	0,49	0,35	0,51
4	0,12	0,35	0,51
5	0,38	0,35	0,51
6	0,88	0,35	0,51
7	0,35	0,35	0,51
8	0,60	0,35	0,51
9	1,33	0,35	0,51
10	0,15	0,35	0,51
11	0,28	0,35	0,51
12	0,11	0,35	0,51

Аналіз результатів опрацювання даних показав, що на реперах 1, 2, 4, 10, 12 відбувається рівномірне осідання зі швидкістю 4-5 мм/міс, а на реперах 7, 11 відбувається незначне осідання зі швидкістю 1 мм/міс. На реперах 3, 5, 6, 8, 9 не спостерігається осідання. Репери 2 та 10 мають горизонтальні деформації, які складають 10 мм, а репери 6 та 12 відповідно 20 мм. Для решти реперів горизонтальні зміщення не спостерігаються.

Важливим питанням є питання вибору методики визначення векторів зрушення реперів. Необхідність виміру ординат або визначення векторів зрушення для кожного конкретного випадку встановлюється при складанні проекту спостережень. У випадку значної ламаності профілю, визначення векторів зрушення реперів профільної лінії в плані виконується полярним способом або прокладання теодолітного ходу.

За різницею координат репера з початкової та наступної серій спостережень визначається лінійна величина та дирекційний кут вектора зрушення в плані. Значення повного вектора зрушення розраховується за обчисленими величинами осідання й ординатами або векторами зрушення. Вимірювання ординат реперів й визначення векторів зрушення в плані виконується двічі, в прямому й зворотному напрямках. Відомо, що розбіжність значень ординат або векторів зрушення в плані з подвійного визначення не повинна перевищувати ± 15 мм [1], тобто, мм

$$m_S^2 = m_x^2 + m_y^2 = 225.$$

Звідки випливає, що середня квадратична помилка визначення координат складає, мм

$$m_x = m_y = 10,6,$$

де m_x, m_y - середні квадратичні помилки визначення координат.

При однаковій точності визначення координат x та y у всіх циклах, середня квадратична помилка визначення координат x або y буде дорівнювати

$$m_{xy} = \frac{m_x}{\sqrt{n}} = \frac{m_y}{\sqrt{n}}, \quad (7)$$

де n – кількість циклів.

Тобто, середня квадратична помилка визначення координати з двох циклів

$$m_{xy} = m_x = m_y = \frac{10,6}{\sqrt{2}} = 7,5 \text{ мм.}$$

З метою дослідження планового та висотного положення реперів, які знаходяться на території дитячого закладу, була створена геодезична мережа спеціального призначення в системі координат та висот, прийнятій раніше. Прийнято періодичність проведення вимірів – два рази на місяць.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Прийнята методика польових та камеральних робіт добре показала себе на практиці. Отримані достовірні результати про положення деформаційних реперів на території дитячого закладу, розташованого поблизу зони зрушень. Безперечно, є необхідність у подальшому дослідженні способів спостереження за процесами зрушення, в удосконаленні класичних та розробці нових, більш ефективних.

Список літератури

1. Инструкция по исследованиям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений». М.: Недра, 1988.
2. Методические указания по наблюдениям за сдвижением горных пород и за подрабатываемыми сооружениями. Л., ВНИМИ, 1986.
3. Инструкция о порядке утверждения мер охраны зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния горных разработок. Госгортехнадзор СССР. М., 1986.
4. Временные правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на рудных месторождениях с неизученным процессом сдвижения горных пород. Л., ВНИМИ, 1966.
5. Панжин А.А. Решение проблемы выбора опорных реперов при исследовании процесса сдвижения на объектах недропользования / А.А.Панжин // Маркшейдерия и недропользование. -2012. – № 2. – С. 51–54.
6. Peng, S.S. Surface Subsidence Engineering [Text] / Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. – Ann Arbor: MI, 1992. – 161 p.
7. Спиридонов В.П. Деформации горных пород и сооружений, предупреждение чрезвычайных ситуаций.— Минск: «Горная механика», № 1-2, 2004, с. 28-34.
8. Гудков В.М., Спиридонов В.П. Критерии устойчивости горнопромышленных сооружений и зданий. — Маркшейдерский вестник. № 2, 2004 г., с. 68-71.
9. Долгіх О.В., Долгіх Л.В. Дослідження способів спостереження за деформаціями денної поверхні, підробленої гірничими роботами. / Вісник криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2016. - № 101. С. 46-49
10. Долгіх О.В. Використання нечіткої логіки та нейронних мереж при розрахунках можливості утворення проваль від дії підземних гірничих робіт // О.В. Долгіх, //Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2014. - 2014. – Вип. 37. С. 76–79

11. Долгих А.В. Использование нейронных сетей при исследовании земной поверхности, обработанной подземными горными работами/ А.В. Долгих, Л.В. Долгих // Сборник научных трудов «Качество минерального сырья». Кривой Рог, 2014.; Издательство «Дионат» (ФЛ-П Чернявский Д.А.). – С. 387-392.
12. Долгих А.В. Преобразование маркшейдерских данных для моделирования нейросетевыми методами. / Гірничий вісник. – Кривий Ріг: КНУ. – 96, 2013. – С. 85-89.
13. С.В. Усанов, П.В. Кольцов, С.В. Белячков. Современные системы лазерного сканирования для мониторинга деформаций при открытых разработках. / «Маркшейдерия и недропользование. – М., Геомар Недра, №4 (96), 2018, 40с.
14. Панжин А.А. Результаты наблюдений за деформациями породных массивов методами спутниковой геодезии //Сборник трудов международной конференции « Геодинамика и напряженное состояние недр Земли». — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2001.
15. Григоренко А.Г. Измерение смещений оползней. – М.: Недра, 1988. – 144 с.

Рукопис подано до редакції 17.04.2018

УДК 621.382.333

І.А. КОЗАКЕВИЧ, І.В. КАСАТКІНА, кандидати техн. наук, Л.В. СРЬОМЕНКО, магістрант
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИНХРОННОГО ДВИГУНА З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ В ГІБРИДНИХ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ

Мета. Метою даної роботи є дослідження синхронних двигунів транспортних засобів з постійними магнітами при ослабленні магнітного потоку, визначення аналітичних залежностей для забезпечення максимального співвідношення між електромагнітним моментом та струмом при умові обмеження величин напруг та струмів статора, розробка системи керування, що забезпечить роботу двигуна при частоті обертання вищій за номінальну, а також синтез методу керування тяговим синхронним двигуном з постійними магнітами, що передбачав би одночасне керування з максимізацією співвідношення момент-струм та максимізацією коефіцієнта корисної дії без використання додаткових перемикачів у структурі системи керування.

Методи дослідження. Дослідження виконувалося з використанням загальних методів теорії автоматичного керування, методів теорії оптимального керування та методів дослідження нелінійних систем автоматичного керування, варіаційного та матричного обчислення, чисельних методів, методів математичного аналізу, математичного моделювання та лабораторно-стендових випробувань

Наукова новизна. Встановлені залежності між складовими вектору струму статора двигуна при роботі в зоні ослаблення магнітного поля та обмеженні величин струмів та напруг на номінальному рівні. Розроблена структура системи керування синхронним двигуном, що дозволяє реалізувати отримання максимального співвідношення між електромагнітним моментом та струмом статора двигуна, а також досягти високих показників якості керування при роботі з кутовою швидкістю вищою за номінальну.

Практична значимість. Здійснено теоретичне узагальнення й розв'язання актуальної науково-технічної задачі, що пов'язана з керуванням синхронним двигуном з постійними магнітами в зоні ослаблення магнітного поля. Було визначено, що найбільш суттєвими чинниками, що впливають на роботу двигуна у такому режимі є наявність обмеження напруги і струму на номінальному рівні. В той же час аналіз таких систем при одночасній дії двох обмежень, що мають різний фізичний зміст є складною задачею. Крім того, отримано залежності, що дозволяють аналітично описати область допустимих значень кутової швидкості двигуна та навантаження при роботі з ослабленням поля.

Результати. Розроблена система керування роботою синхронного двигуна з постійними магнітами в режимі ослаблення поля, що дозволяє застосовувати такі двигуни в гібридному електротранспорті.

Ключові слова: синхронний двигун, постійні магніти, струм статора, регулятор струму, кутова швидкість.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-106-111

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. З позиції функціонування тягових електромеханічних систем існують дві основні вимоги: отримання високих значень моменту двигуна для підвищення показників прискорення транспортного засобу, а також мінімізація втрат у системі для отримання максимальної енергоефективності [1]. Вирішення цих питань досягається використанням тактики максимізації відношення момент-струм та використання методів керування з максимізацією коефіцієнта корисної дії. Проте, досі не доведено, який з цих підходів здатний у найбільшій мірі задовольнити вимоги тягових електроприводів. У роботі виконується розробка методу керування, що поєднує у собі підходи максимізації співвідношення момент-струм та максимізації коефіцієнту корисної дії в залежності від умов роботи приводу. Проте, в даному випадку не виконується жодного переключення між цими двома тактиками керування, оскільки це погіршило б динамічні показники якості керування та

ускладнило б структуру системи керування. Для низьких значень моменту завдання доцільно використовувати тактику керування, що є близькою до тактики з максимізацією співвідношення момент-струм, оскільки в даному випадку можна отримати більш високі динамічні показники якості керування. Для більш високих значень моменту завдання доцільно використовувати тактику з максимізацією коефіцієнту корисної дії, оскільки при цьому зростають втрати потужності і тому доцільно їх мінімізувати, щоб забезпечити мінімальне розрядження акумуляторної батареї.

Аналіз досліджень і публікації. Синхронні двигуни з постійними магнітами отримали широке розповсюдження у різних галузях промисловості, особливо у сфері гібридних електричних транспортних засобів [2]. Така їх популярність пояснюється високою щільністю потужності [3], можливістю роботи з постійною потужністю у широкому діапазоні швидкостей, високі динамічні показники при керуванні електромагнітним моментом. У наукових публікаціях представлено два основних підходи до підвищення показників енергоефективності приводів з синхронними двигунами з постійними магнітами: керування з максимізацією співвідношення момент-струм [4-5], а також керування з максимізацією коефіцієнта корисної дії [6-7]. Декілька варіантів структур систем керування з використанням тактики максимізації співвідношення момент-струм представлено у [8]. Такі системи орієнтуються на максимізацією електромагнітного моменту, створюваного двигуном, за відповідної величини статорного струму машини, тобто використання максимальної механічної потужності обертання електричної машини [9]. Проте, таке керування, як правило, здійснюється при нехтуванні втратами в сталі машини, але досить часто використовується в тягових електроприводах через те, що дозволяє мінімізувати втрати в міді машини, а також є легким в реалізації. Оскільки при цьому мінімізується величина струму статора двигуна для отримання необхідної величини моменту, це створює умови для використання силових перетворювачів меншої потужності, ніж у випадку використання інших методів керування, що призводить до зменшення собівартості такої електромеханічної системи.

Використання підходу з максимізацією коефіцієнта корисної дії передбачає мінімізацію втрат у двигуні при будь-якому електромагнітному моменті та кутовій швидкості. Існують варіанти структур, що використовують керування з максимізацією співвідношення момент-струм у перехідних процесах, а під час усталеного режиму роботу перемикається на керування з максимізацією коефіцієнту корисної дії, що дозволяє комбінувати переваги обох стратегій керування. Недоліком даного методу є виникнення додаткових перехідних процесів під час перемикання двох систем керування, а також необхідністю використання певних критеріїв для здійснення даного перемикання, які повинні відображати режим роботи електропривода. Для реальних тягових електроприводів ці недоліки можуть стати суттєвими перешкодами для реалізації.

Постановка завдання. Для досягнення поставленої мети, дослідження синхронного двигуна з постійними магнітами в режимі ослаблення поля, вирішувалися наступні задачі:

отримання залежності, що дозволить визначити область допустимої роботи синхронного двигуна з постійними магнітами при ослабленні магнітного потоку машини та визначити допустимі навантаження для кутових швидкостей, що є більшими за номінальну, при цьому виконується обмеження струмів та напруг двигуна на номінальному рівні;

розробка структурної схеми системи керування, що дозволить досягнути більш високих показників якості керування;

підвищення ефективного використання електроенергії.

Викладення матеріалу і результати. Розглянемо керування синхронним двигуном з постійними магнітами з максимізацією коефіцієнта корисної дії. Структурна схема представлена на рис.1. Для цього виконаємо диференціювання виразу загальних втрат за складовою струму i_{d0} і прирівняємо отриманий вираз до нуля [10]

$$\begin{aligned} & \frac{9}{4} p^2 (L_d \omega_e^2 (R_s + R_c) (\psi_m + L_d i_{d0}) + R_c^2 R_s i_{d0}) (\psi_m + (L_d - L_q) i_{d0})^3 = \\ & = (\omega_e^2 L_q^2 (R_s + R_c) + R_c^2 R_s) (L_d - L_q) M^2. \end{aligned}$$

Розв'язання даного рівняння для заданих значень електромагнітного моменту M та кутової частоти обертання поля машини ω_e дає можливість отримати значення складової струму i_{d0} , що мінімізує величину загальних електричних втрат потужності, тобто максимізує коефіцієнт корисної дії. Значення оптимальної величини i_{d0} знаходиться з виразу для електромагнітного моменту двигуна. Значення струмів i_d та i_q розраховуються, виходячи з параметрів схеми замі-

шення, базуючись на значеннях складових струму втрат в сталі машини. Отже, основними параметрами, що визначатимуть закон зміни складових струму статора при керуванні з максимізацією коефіцієнта корисної дії є величина активного опору втрат в сталі та кутова швидкість обертання поля машини.

Теорія керування синхронним двигуном з постійними магнітами (рис.1) з максимізацією співвідношення момент-струм базується на нехтуванні втратами в сталі машини, тобто приймається, що $R_c \rightarrow \infty$ [11]. У такому випадку, паралельна ланка схеми заміщення, що моделює втрати в сталі, може вважатися розімкненою, а, отже $i_d = i_{d0}$, $i_q = i_{q0}$.

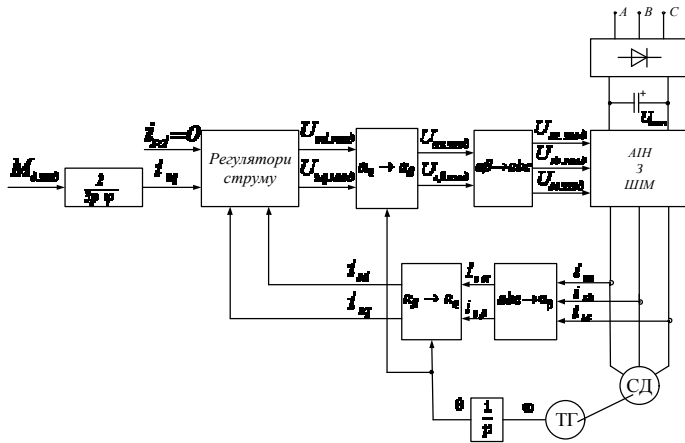


Рис. 1. Структурна схема системи керування синхронним двигуном з постійними магнітами

В подальшому виконано диференціювання виразу для електромагнітного моменту за струмом по вісі d , а потім прирівнюють отриманий диференціал до нуля. Це дає змогу визначити співвідношення між струмами по вісям d та q , що призведе до створення максимального електромагнітного моменту за необхідної величини струму статора i_{max}

$$i_d = \frac{\Psi_m - \sqrt{\Psi_m^2 + 4(L_d - L_q)^2 i_q^2}}{2(L_q - L_d)},$$

$$i_q = \sqrt{i_{max}^2 - i_d^2}.$$

У режимі обмеження вихідної напруги інвертора регулятори струму не можуть відпрацювати сигнал завдання, виникає різниця напруг, що може бути записана так

$$\Delta u_d = u_d^* - u_d = u_d^* + \omega L_q i_q;$$

$$\Delta u_q = u_q^* - u_q = u_q^* + \omega L_d i_d - \omega \Psi.$$

Для виключення різниці напруг з вищевказаних рівнянь, введемо вагову функцію

$$F = 0,5(\Delta u_d^2 + \Delta u_q^2).$$

Модифіковані струми у синхронній системі відліку $d-q$ можна записати так

$$\begin{pmatrix} \frac{di_{dm}}{dt} \\ \frac{di_{qm}}{dt} \end{pmatrix} = \alpha \cdot \nabla F,$$

де α – параметр налаштування.

Гradient вагової функції може бути визначений так

$$\nabla F = \begin{pmatrix} \frac{\partial F}{\partial i_d} \\ \frac{\partial F}{\partial i_q} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta u_d \frac{\partial \Delta u_d}{\partial i_d} + \Delta u_q \frac{\partial \Delta u_q}{\partial i_d} \\ \Delta u_d \frac{\partial \Delta u_d}{\partial i_q} + \Delta u_q \frac{\partial \Delta u_q}{\partial i_q} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\omega L_d \Delta u_q \\ \omega L_q \Delta u_d \end{pmatrix}.$$

Підставивши gradient вагової функції, отримуємо

$$\begin{pmatrix} i_{dm} \\ i_{qm} \end{pmatrix} = \frac{\alpha}{s} \cdot \nabla F = \frac{\alpha}{s} \begin{pmatrix} -\omega L_d \Delta u_q \\ \omega L_q \Delta u_d \end{pmatrix}.$$

Для виключення дрейфу нуля, використано фільтр високої частоти

$$\begin{pmatrix} i_{dm} \\ i_{qm} \end{pmatrix} = \frac{\alpha}{s} \cdot \frac{s}{s + \omega_c} \cdot \nabla F = \frac{\alpha}{s + \omega_c} \begin{pmatrix} -\omega L_d \Delta u_q \\ \omega L_q \Delta u_d \end{pmatrix},$$

де ω_c – кутова частота зрізу фільтра.

Таким чином, сигнали завдання контурів струму у синхронній системі відліку d-q можуть бути записані так

$$i_d^* = i_{dc}^* + i_{dm} = i_{dc}^* - \frac{\alpha}{s + \omega_c} \omega L_d \Delta u_q;$$

$$i_q^* = i_{qc}^* + i_{qm} = i_{qc}^* - \frac{\alpha}{s + \omega_c} \omega L_q \Delta u_d.$$

Вплив ПІ-регулятора по вісі q є негативним по відношенню до очікування системи, що може призводити до насичення регулятора і робить неможливим збереження відповідності між струмом завдання та реальною величиною струму. Таким чином, необхідно обмежувати вплив регулятора струму по вісі q . Струми у системі відліку d - q обмежуються струмовим колом, таким чином, що струм по вісі q може бути автоматично розрахований при відомій величині струму по вісі d . За умови використання блоків виключення перехресних зв'язків у системі керування, вихід струмових регуляторів може бути записаний так

$$u_d^* = \left(K_n + \frac{K_i}{s} \right) (i_d^* - i_d) - \omega L_q i_q;$$

$$u_q^* = \left(K_n + \frac{K_i}{s} \right) (i_q^* - i_q) - \omega L_d i_d + \omega \psi.$$

Тоді різниці напруг можуть бути записані так

$$\Delta u_d = \left(K_n + \frac{K_i}{s} \right) (i_d^* - i_d);$$

$$\Delta u_q = \left(K_n + \frac{K_i}{s} \right) (i_q^* - i_q);$$

Сигнал завдання струму по вісі d

$$i_d^{**} = i_{dc}^* + i_{dm} = i_{dc}^* - \frac{\alpha}{s + \omega_c} \omega L_d \left(K_n + \frac{K_i}{s} \right) (i_d^* - i_d).$$

Введено наступні позначення

$$\omega_c = K_i / K_n; \quad \alpha = \frac{1}{\omega L_d}.$$

Тоді вирази для струмів завдання можна записати наступним чином

$$i_{dm} = \frac{K_n}{s} (i_q^* - i_q);$$

$$i_d^{**} = i_{dc}^* + i_{dm};$$

$$i_q^* = \text{sign}(i_s^*) \sqrt{i_s^{*2} + i_d^{**2}}.$$

Структура запропонованої системи керування представлена на рис.2.

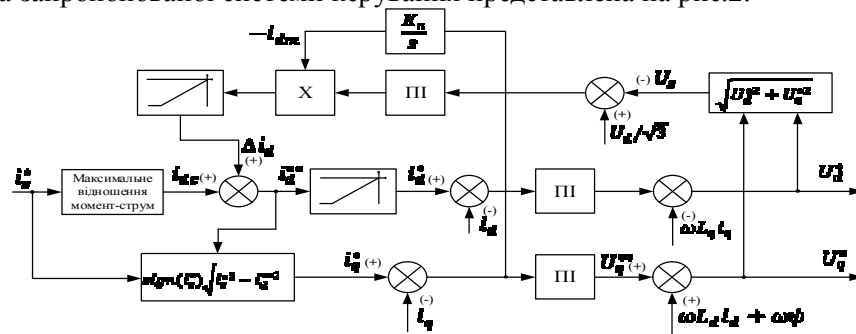


Рис. 2. Структура запропонованої системи керування

Результати моделювання представлені на рис. 3, 4.

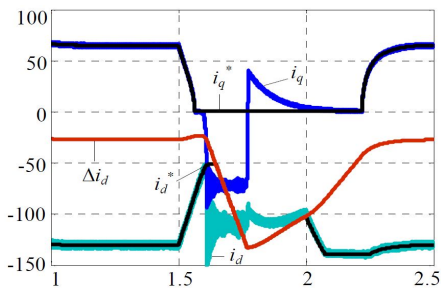


Рис. 3. Робота синхронного двигуна в зоні ослаблення поля при класичній системі керування

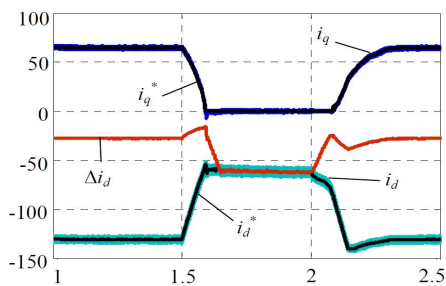


Рис.4. Робота синхронного двигуна в зоні ослаблення поля при запропонованій системі керування

На рис. 3 представлено результати моделювання існуючої системи керування. В момент $t=1,5$ с відбувається зміна рівня навантаження, що і відображається на зміні величини проекції струму статора i_q . Разом з тим, поведінка складової струму i_d значно відхиляється від відповідного сигналу завдання i_d^* , що затягує протікання динамічних процесів у системі. На рис.4 показано результати моделювання поведінки запропонованої системи керування. З них видно, що під час динамічних процесів відхилення складової струму i_d від її сигналу завдання i_d^* є мінімальним, а тривалість переходного процесу значно скоротилася у порівнянні з попереднім варіантом.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Проведено теоретичне узагальнення й розв'язання актуальної науково-технічної задачі, що пов'язана з керуванням синхронним двигуном з постійними магнітами в зоні ослаблення магнітного поля. Було визначено, що найбільш суттєвими чинниками, що впливають на роботу двигуна у такому режимі є наявність обмеження напруги і струму на номінальному рівні. В той же час аналіз таких систем при одночасній дії двох обмежень, що мають різний

фізичний зміст є складною задачею. У роботі отримано залежності, що дозволяють аналітично описати область допустимих значень кутової швидкості двигуна та навантаження при роботі з ослабленням поля.

Список літератури

1. **Васьковський Ю. Н.** Моделирование режимов работы тягового синхронного двигателя с постоянными магнитами [Електронний ресурс] / Ю. Н. Васьковський, Ю. А. Гайденко, А. Е. Русятинський // Електротехніка і електромеханіка. - 2013. - № 5. - С. 19-22. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/elem_2013_5_6
2. **Толочко О. І.** Визначення допустимої області застосування оптимальних алгоритмів керування синхронними двигунами з постійними магнітами [Електронний ресурс] / О. І. Толочко, Є. О. Вареник, В. В. Божко // Електротехнічні та комп'ютерні системи. - 2011. - № 3. - С. 72-74. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/etks_2011_3_24
3. **Козакевич І. А.** Система бездатчикового векторного керування з використанням релейних регуляторів / І.А. Козакевич // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 1/2015 (3). – С. 80-82.
4. **Щур І. З.** Застосування принципів пасивного керування до синхронної машини з постійними магнітами як Гамільтонової системи з керованими входами/виходами [Електронний ресурс] / І. З. Щур, Ю. О. Білецький // Електротехнічні та комп'ютерні системи. - 2011. - № 3. - С. 77-79. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/etks_2011_3_26
5. **Shiva B. S.** Speed and parameter estimation of vector controlled permanent magnet synchronous motor drive / B. S. Shiva, V. Verma // 2nd International Conference on Power, Energy and Environment: Towards Smart Technology. – 2018. – P. 1-6.
6. **Сінолиций А. П.** Дослідження спостерігача Льюенбергера для бездатчикового векторного керування при роботі на низькій швидкості / А. П. Сінолиций, Ю. Г. Осадчук, І. А. Козакевич // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – Вип. 03 (79). – 2011. – С. 38-39.
7. **Зарицкая Е. И.** Оптимизационный расчет тихоходного синхронного генератора на постоянных магнитах для безредукторных электрогенерирующих установок [Електронний ресурс] / Е. И. Зарицкая, Л. Н. Канов, А. М. Олейников // Проблеми техніки. - 2013. - № 2. - С. 103-118. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptekh_2013_2_14
8. **Виштак Т. В.** Магнитное поле токов статорной обмотки синхронного двигателя с полым ротором [Електронний ресурс] / Т. В. Виштак, А. Н. Карлов, И. П. Кондратенко, А. П. Ращепкин // Технічна електродинаміка. - 2013. - № 5. - С. 41-46. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/TED_2013_5_9
9. **Осадчук Ю. Г.** Алгоритм компенсації ефекту «мертвого часу» в трьохрівневих інверторах напруги / Ю. Г. Осадчук, І. О. Сінчук, І. А. Козакевич // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Вип. 1. – 2010. – С. 38-41.
10. **Zhou H.** An improved flux-weakening strategy for field-oriented-controlled PMSM drives / H. Zhou, X. Wen, F. Zhao, J. Zhang, J. Meng // IEEE 7th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2012.
11. **Voyer N.** High frequency modelling of permanent magnet synchronous machine / N. Voyer, G. Bueno-Mariani, A. Besri, V. Quemener, Y. Okamoto, A. Satake // 8th International Electric Drives Production Conference. – 2018. – P. 1-6.

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

НОРМУВАННЯ ГОТОВИХ ДО ВИДОБУВАННЯ БАЛАНСОВО-ПРОМИСЛОВИХ ЗАПАСІВ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ

Мета. Метою даної роботи є розробка метода і методики визначення і облік розкритих, підготовлених і готових до видобування балансово-промислових запасів залізистих кварцитів на гірничовидобувних підприємствах та встановлення взаємозв'язку між ними.

Методи дослідження. Аналіз та узагальнення науково-технічних досягнень нормування з урахуванням того, що при класифікації підготовленості балансово-промислових запасів до кінця не витриманий класифікаційний принцип, відповідно до якого підготовленість запасів до видобування визначається при виконанні устанавленого технологічного комплексу гірничих робіт. Розглянуто балансово-промислові запаси готові до видобування як сума відбитих, обурених і підготовлених до буріння вибуховими свердловинами. Проаналізовано динаміку кожної із цих груп промислових запасів залізистих кварцитів однієї видобувної одиниці, а потім готових до видобування балансово-промислових запасів по кар'єру в цілому. Досліджено, як відбувається мінливість у часі готових до видобування балансово-промислових запасів однієї видобувної одиниці і кар'єру в цілому, що складається з початкового моменту часу, періоду часу до першого розпушення масиву залізистих кварцитів, числа масових вибухів, інтервалу часу між розпушеннями та після розпушення масиву залізистих кварцитів видобувної одиниці.

Наукова новизна. Встановлено залежності продуктивності гірничовидобувного підприємства і середнього квадратичного відхилення вмісту якісних показників усередненого корисного компонента, пов'язаного з магнетитом у залізорудній масі від числа видобувних одиниць. Обґрунтовано нормативні значення готових до видобування, підготовлених і розкритих балансово-промислових запасів, які залежать від інтенсивності проведення гірничих робіт і під впливом великої кількості випадкових факторів суттєво коливаються. Доведено, що мінливість балансово-промислових запасів видобувної одиниці обурених вибуховими свердловинами, носить стрибкоподібний характер з періодом, що дорівнює інтервалу часу між суміжними розпушеннями масиву балансово-промислових запасів.

Практична значимість. Розроблена методика аналізу закономірностей нормування підготовленості до видобування балансово-промислових запасів базується на зіставленні значень визначення нормативного числа видобувних одиниць і забезпеченості промислово-балансовими запасами кожної видобувної одиниці.

Результати. Нормативна величина підготовленості до видобування балансово-промислових запасів усіх категорій повинна мати резерв, який компенсує нерівномірність проведення гірничих робіт, а нормативна забезпеченість визначається з резервом, який компенсує похибки розрахунків.

Ключові слова: запаси, залізисті кварцити, нормування, методика, видобувна одиниця.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-111-117

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Опіраючись на класифікацію балансово-промислових запасів по ступеню підготовленості до видобутку, відповідно до якої готові до видобування запаси є сума відбитих, обурених і підготовлених до буріння вибуховими свердловинами (або зачищених) [1]. Розглядається, як відбувається мінливість у часі готових до видобування запасів залізистих кварцитів однієї видобувної одиниці і кар'єру в цілому.

Аналіз досліджень і публікацій. Розглянувши динаміку кожної із цих трьох груп балансово-промислових запасів однієї видобувної одиниці, а потім готових до видобування запасів залізистих кварцитів по кар'єру в цілому [2; 3]. Для аналізу приймається будь-який інтервал часу, що складається зі складових: початковий момент часу; період часу до першого розпушення масиву балансово-промислових запасів; число масових вибухів для розпушення масиву i -ої видобувної одиниці за час T ; тривалість j -го інтервалу часу між розпушеннями масиву i -ої видобувної одиниці; Δt інтервал часу після k -го розпушення масиву [4; 5]. Відбиті від масиву балансово-промислові запаси забезпечують продуктивність видобувної одиниці в період між розпушеннями масиву залізистих кварцитів [6]. У процесі видобувних робіт відбиті балансово-промислові запаси в результаті їх відвантаження зменшуються доти, поки не будуть повністю відвантажені або не досягнуть певного рівня [7].

Постановка завдання. Мінливість відбитих балансово-промислових запасів у забоях окремих видобувних одиниць і в кар'єрі відбувається стрибкоподібно з періодом, що дорівнює інтервалу між суміжними розпушеннями масиву балансово-промислових запасів і з амплітудою, що дорівнює обсягу відбитої залізорудної маси q_{lij} . Кількість відбитих балансово-промислових запасів i -ої видобувної одиниці на момент часу t визначається у такий спосіб

$$Q_{Ii} = q_{Ii0} + \sum_1^{k_i} q_{Iij} - \sum_1^{k_i} d_{ij} - d_{i\Delta t} = q_{Ii0} + k_i q_{Ii} - (k-1)d_i - d_{i\Delta t}, \quad (1)$$

де q_{Ii0} – кількість відбитих балансово-промислових запасів у забої i -ої видобувної одиниці у початковий момент розглянутого періоду часу t_0 ; d_{i0} – кількість залізородної маси, яка відвантажується i -ою видобувною одиницею за час Δt_0 ; q_{Iij} – кількість балансово-промислових запасів i -ої видобувної одиниці, які відбиваються в j -ий вибух; d_{ij} – продуктивність i -ої видобувної одиниці в інтервалі між розпушеннями масиву балансово-промислових запасів; $d_{i\Delta t}$ – кількість залізородної маси, яка відвантажується i -ою видобувною одиницею за час Δt ; q_{Ii} – середня кількість відбитих балансово-промислових запасів i -ої видобувної одиниці в інтервалі між розпушеннями масиву балансово-промислових запасів; d_i – середня продуктивність i -ої видобувної одиниці в інтервалі між розпушеннями масиву балансово-промислових запасів.

Викладення матеріалу та результати. Схема мінливості відбитих балансово-промислових запасів у забої видобувної одиниці наведена на рис. 1а. Мінливість запасів видобувної одиниці обурених вибуховими свердловинами, так само як і відбитих балансово-промислових запасів, носить стрибкоподібний характер з періодом, що дорівнює інтервалу часу між суміжними розпушеннями масиву запасів. Кількість запасів i -ої видобувної одиниці, обурених вибуховими свердловинами на момент часу t , визначається з виразу

$$Q_{IIi} = q_{IIi0} + q_{IIi\Delta t_0} + \sum_1^{k_i-1} q_{IIij} - \sum_1^{k_i-1} q_{IIij} + q_{IIi0} + q_{IIi\Delta t_0} + (k_1 - 1)q_{IIi} - k_i q_{IIi} + q_{IIi\Delta t}, \quad (2)$$

де q_{IIi0} – балансово-промислові запаси i -ої видобувної одиниці, підготовлені до буріння вибуховими свердловинами, наявні в момент часу t_0 ; q_{IIij} – балансово-промислові запаси i -ої видобувної одиниці, підготовлені до буріння вибуховими свердловинами в i -ий інтервал між розпушеннями масиву балансово-промислових запасів; q_{IIi} – середня величина балансово-промислових запасів i -ої видобувної одиниці, підготовлених до буріння вибуховими свердловинами в інтервалі між розпушеннями масиву балансово-промислових запасів; $q_{IIi\Delta t}$ – балансово-промислові запаси i -ої видобувної одиниці, підготовлені до буріння вибуховими свердловинами за час Δt .

Схема мінливості балансово-промислових запасів видобувної одиниці, обурених вибуховими свердловинами, наведена на рис. 1б. Аналогічно на момент часу t кількість балансово-промислових запасів i -ої видобувної одиниці підготовлених до буріння вибухових свердловин становить

$$\begin{aligned} Q_{IIIi} &= q_{IIIi0} - q_{IIIi0} + q_{IIIi\Delta f_0} + \sum_1^{k_i-1} q_{IIIij} - \sum_1^{k_i-1} q_{IIIij} + q_{IIIij} - q_{IIIi\Delta} = \\ &= q_{IIIi0} - q_{IIIi0} + q_{IIIi\Delta t_0} + (k_1 - 1)q_{IIIi} - (k_1 - 1)q_{IIIi} + q_{IIIi\Delta t} - q_{IIIi\Delta t}, \end{aligned} \quad (3)$$

де q_{IIIi0} – балансово-промислові запаси i -ої видобувної одиниці, підготовлені до буріння вибухових свердловин, наявні в момент часу t_0 ; q_{IIIij} – балансово-промислові запаси i -ої видобувної одиниці, підготовлені до буріння вибухових свердловин в j -ий інтервал між розпушеннями масиву балансово-промислових запасів; q_{IIIi} – середня величина балансово-промислових запасів i -ої видобувної одиниці, підготовлені до буріння вибухових свердловин в інтервалі між розпушеннями масиву балансово-промислових запасів; $q_{IIIi\Delta t}$ – балансово-промислові запаси i -ої видобувної одиниці, підготовлені до буріння вибухових свердловин за час Δt .

Схема мінливості балансово-промислових запасів видобувної одиниці, підготовлених до буріння вибухових свердловин, наведена на рис. 1в. Балансово-промислові запаси готові до видобування корисних копалин i -ої видобувної одиниці в момент часу t становлять величину, що дорівнює сумі відбитих балансово-промислових запасів i -ї видобувної одиниці на момент часу t , обурених вибуховими свердловинами і підготовлених до буріння вибухових свердловин

$$\begin{aligned} Q_{\Gamma i} &= Q_{Ii} + Q_{IIi} + Q_{IIIi} = (k_1 - 1)q_{IIIi} - (k_1 - 1)d_i + \\ &+ q_{IIIi\Delta t_0} + q_{IIIi0} + q_{IIIi\Delta t} + q_{Ii0} - d_{i0} - d_{i\Delta t}. \end{aligned} \quad (4)$$

З високою ймовірністю можна вважати, що

$$q_{IIIi\Delta t_0} + q_{IIIi\Delta t} = q_{IIIi}; \quad (5)$$

$$d_{i0} + d_{i\Delta t} = d_i. \quad (6)$$

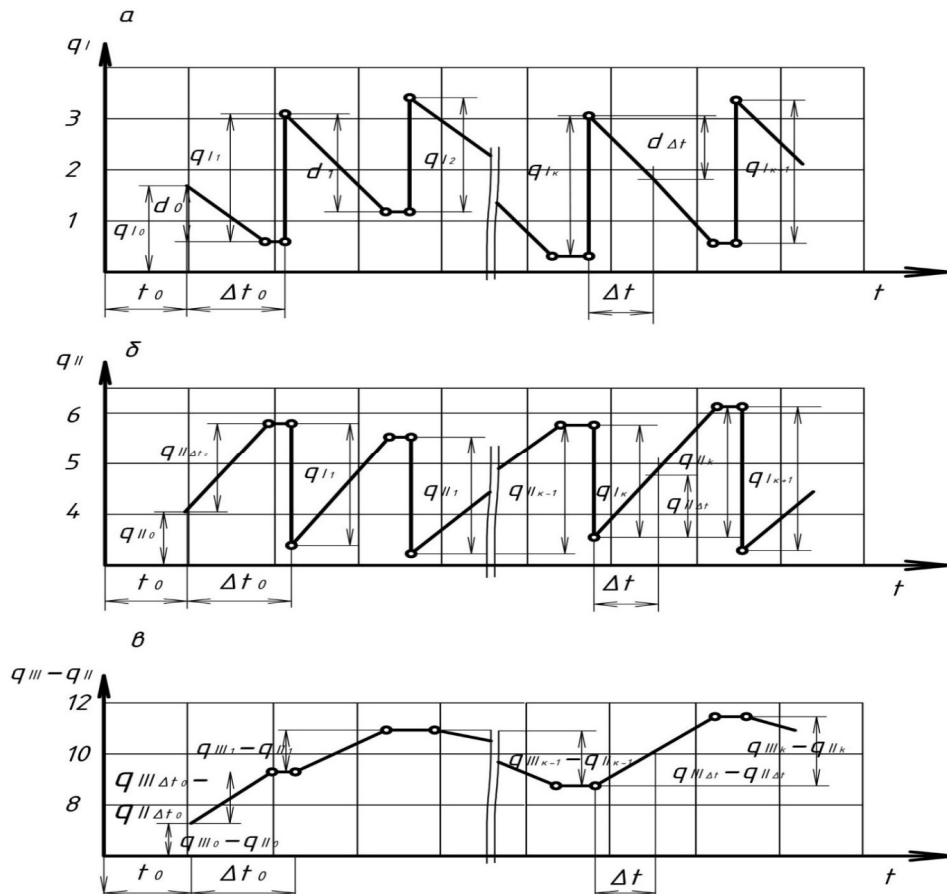


Рис. 1. Схема мінливості балансово-промислових запасів видобувної одиниці:
 а – відбиті; б – обурені і в – підготовленні до буріння вибуховими свердловинами

Величина q_{III_0} представляється сумою двох додатків $q_{III_0} = q'_{III_i} + q'_{III_{i_0}}$, (7)

де q'_{III_i} – «перехідні» балансово-промислові запаси, що забезпечують фронт бурових робіт після розпушення масиву балансово-промислових запасів у забої i -ої видобувної одиниці; $q'_{III_{i_0}}$ – балансово-промислові запаси, підготовлені до буріння вибухових свердловин за час t_0 .

Величина q_{II_0} розглядається як суму двох наступних додатків [8; 9]

$$q_{II_0} = q'_{II_i} + q'_{II_{i_0}}, \quad (8)$$

де q'_{II_i} – «перехідні» відбиті від масиву балансово-промислові запаси; $q'_{II_{i_0}}$ – відбиті від масиву балансово-промислові запаси розпушеної залізородної маси, яка відвантажується за час Δt_0 .

Враховуючи залежності (5)–(8), було встановлено наступний вираз для визначення готових до видобування балансово-промислових запасів i -ої видобувної одиниці

$$Q_{\Gamma i} = k_i q_{III_i} - k_i d_i + q'_{III_i} + q'_{III_{i_0}} + q'_{II_i} + q'_{II_{i_0}}. \quad (9)$$

Готові до видобування балансово-промислові запаси залізістих кварцитів по кар'єру в момент часу t при роботі N видобувних одиниць визначається у такий спосіб

$$Q_{\Gamma} = \sum_1^N Q_{\Gamma i} = \sum_1^N (k_1 q_{III_i} - k_i d_i + q'_{III_i} + q'_{III_{i_0}} + q'_{II_i} + q'_{II_{i_0}}). \quad (10)$$

Розглядаючи кожний додаток у виразі (10), отримується

$$\sum_1 k_i q_{III_i} = N \overline{k_1 q_{III}} = N (k q_{III} + r_{kq_{III}} \sigma_k \sigma_{q_{III}}), \quad (11)$$

де k_i , q_{III} – середні значення; σ_k , $\sigma_{q_{III}}$ – середні квадратичні відхилення величин k_i і q_{III} , а $r_{kq_{III}}$ – коефіцієнт кореляції величин розпушення масиву балансово-промислових запасів k_i і балансово-промислових запасів, підготовлених до буріння вибухових свердловин q_{III} .

Аналогічно

$$\sum_1^N k_i d_i = N (k d + r_{kd} \sigma_k \sigma_d), \quad (12)$$

де r_{kd} – коефіцієнт кореляції величин розпушення масиву балансово-промислових запасів k_i і середньої продуктивності i -ої видобувної одиниці в інтервалі часу між розпушеннями масиву балансово-промислових запасів d_i .

Якщо допустити, що

$$\sum_1^N q'_{IIIi_0} = 0,5 N q_{III}, \quad (13)$$

$$\sum_1^N q'_{Ii_0} = 0,5 N d. \quad (14)$$

Позначимо $\sum_1^N q'_{IIIi} = N q'_{III}$ і $\sum_1^N q'_{Ii} = N q'_I$, де q'_{III} – середня величина «перехідних» балансово-промислових запасів однієї видобувної одиниці, підготовлених до буріння вибухових свердловин; q'_I – середня величина «перехідних» відбитих балансово-промислових запасів однієї видобувної одиниці.

Підставляючи вирази (11)–(14) і отримані позначення у формулу (10), будемо мати

$$Q_T = N[(k + 0,5)q_{III} - (k - 0,5)d + \sigma_k(r_{kq_{III}} \sigma_{q_{III}} - r_{kd} \sigma_d) + q'_{III} + q'_I]. \quad (15)$$

Показники k і σ_k виражаються через величину середнього інтервалу часу між розпушеннями масиву балансово-промислових запасів t_i і середнього квадратичного відхилення σ_{ti} , використовуючи рівність [10]

$$T = \sum_1^{k_i} t_{ij} = k_i t_i. \quad (16)$$

Слід зазначити, що наведені розрахунки дозволяють з урахуванням технології гірничих робіт та гірничо-геологічних умов видобутку зробити оцінку впливу транспортування, втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у розпушеній залізородній масі на однорідність якісного складу одиничного потоку залізородної маси, що надходить із забоїв окремих видобувних одиниць [11].

Такий підхід дає можливість кількісно оцінити вплив засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у залізородній масі на процес внутрішньорудничного усереднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізородній масі [12]. Оцінюючи вплив засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у залізородній масі на усереднення вмісту якісних показників необхідно мати на увазі, що між середньою величиною засмічення і середнім квадратичним відхиленням є залежність (рис. 2). Вона визначена за результатами аналізу звітних даних гірничовидобувних підприємств Кривбасу протягом декількох десятків років [13; 14]. 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.

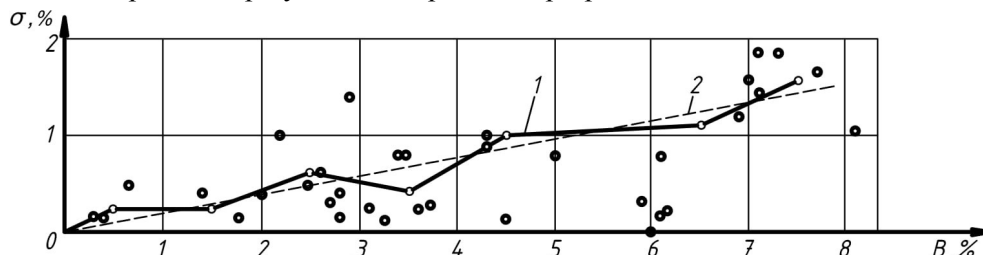


Рис. 2. Залежність середнього квадратичного відхилення величини засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у залізородній масі від середнього значення: 1 – емпірична крива; 2 – рівняння регресії

Викладена методика нормування балансово-промислових запасів апробована на кар'єрах Кривбасу. Однак методика нормування підготовленості готових до видобування балансово-промислових запасів, розроблена для діючих гірничовидобувних підприємств, не зовсім зручна, тому що ряд показників необхідно визначати за даними роботи діючого гірничовидобувного підприємства. У зв'язку із цим методика нормування підготовленості готових до видобування

балансово-промислових запасів модернізована і пристосована до використання на стадії проектування. При роботі на залізничний транспорт у розпушеному блоці, що забезпечує тижневу продуктивність екскаватора, коли приблизно 30 % відбитої від масиву балансово-промислових запасів перебуває на відстані від осі залізничної колії, що перевищує 25 м, залізородна маса відвантажується з перелопачуванням, з залізородною масою наступного блоку і збільшує відбиті промислово-балансові запаси готові до видобування в 1,3 рази. Дослідним шляхом встановлені значення показників, при наявності у кар'єрі автомобільного і залізничного транспортування залізородної маси з забоїв для різних інтервалів часу отримано ряд залежностей для розрахунків нормативів готових до видобування балансово-промислових запасів залізистих кварцитів, які наведені у табл. 1 [15].

Таблиця 1

Залежності для розрахунків нормативів готових до видобування балансово-промислових запасів з урахуванням виду транспортування залізородної маси з забоїв

Вид транспортування залізородної маси з забоїв	Вираз для розрахунку нормативів готових до видобування балансово-промислових запасів залізистих кварцитів у різних інтервалах часу, міс			
	0,23	0,47	0,69	0,93
Автомобільний	$H'_z=0,61k_p$	$H'_z=1,18k_p$	$H'_z=1,58k_p$	$H'_z=1,91k_p$
Залізничний	$H'_z=0,83k_p$	$H'_z=1,33k_p$	$H'_z=1,67k_p$	$H'_z=1,98k_p$
Комбінований	$H'_z=(0,61p_1+0,83p_2)k_p$	$H'_z=(1,18p_1+1,33p_2)k_p$	$H'_z=(1,58p_1+1,67p_2)k_p$	$H'_z=(1,91p_1+1,98p_2)k_p$

У табл. 1 величинами p_1 і p_2 позначається відповідно до частки автомобільного і залізничного транспортування залізородної маси з забоїв кар'єру. При розрахунках нормативів балансово-промислових запасів готових до видобування корисних копалин на стадії проектування найбільші труднощі викликає визначення середньої внутрішньозабійної дисперсії вмісту якісних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, що усереднюється. Для спрощення розрахунків була перевірена гіпотеза про наявність зв'язку між середньою внутрішньозабійною σ^2 і міжзабійною δ^2 дисперсіями вмісту якісних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом. Величини σ^2 і δ^2 з різних сторін характеризують мінливість природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і розпушеній залізородній масі. У той же час вони є характеристиками однієї і тієї ж частини масиву, тобто однієї і тієї ж генеральної сукупності, що дозволяє припускати наявність кореляції між цими показниками. Коефіцієнт кореляції $r=0,84$ свідчить про досить високу тісноту зв'язку. Визначений коефіцієнт кореляції досить надійний, тому що його похибка в 9 разів менше його абсолютного значення [16].

У зв'язку із цим актуальні завдання вивчення процесів динаміки кожної із груп балансово-промислових запасів однієї видобувної одиниці, а потім готових до видобування запасів залізистих кварцитів по кар'єру в цілому, втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин у залізородній масі, виявлення закономірностей утворення і протікання у часі при різних системах і способах видобутку балансово-промислових запасів з дільниць рудного тіла і покладу залізородного родовища. Процеси втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у найбільш загальному випадку нерівномірні, тобто в однакові інтервали часу у видобування залучається різна кількість порід з різним вмістом якісних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, а також втрачається різна кількість балансово-промислових запасів з різним вмістом якісних показників корисних копалин. Для підвищення однорідності показників якісних складових у розпушеній залізородній масі, так організується видобуток, щоб процеси втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у залізородній масі протікали у часі рівномірно [17, 18].

Висновки та напрям подальших досліджень. Розглянувши формування і мінливість, що відбувається у часі підготовки готових до видобування балансово-промислових запасів однієї видобувної одиниці і кар'єру в цілому, яка складається з початкового моменту часу, періоду часу до першого розпушення масиву балансово-промислових запасів, числа масових вибухів для розпушення масиву балансово-промислових запасів видобувної одиниці, тривалості інтервалу часу між розпушеннями масиву балансово-промислових запасів видобувної одиниці та інтервалу часу після розпушення. Мінливість підготовки балансово-промислових запасів видобувної одиниці обурених вибуховими свердловинами, носить стрибкоподібний характер з пері-

одом, що дорівнює інтервалу часу між суміжними розпушеннями масиву балансово-промислових запасів. Мінливість відбитих балансово-промислових запасів у забоях окремих видобувних одиниць і в кар'єрі відбувається стрибкоподібно з періодом, що дорівнює інтервалу між суміжними розпушеннями масиву балансово-промислових запасів і з амплітудою, що дорівнює обсягу відбитої залізорудної маси. Наведені розрахунки дозволяють з урахуванням гірничо-геологічних умов видобутку зробити оцінку впливу втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у розпушеній залізорудній масі на однорідність якісного складу одиничного потоку залізорудної маси, що надходить із забоїв окремих видобувних одиниць.

Список літератури

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ (1987). – ВНИМИ. – М., Недра. – 240 с.
2. Новые направления в маркшейдерии. (2010). Монография / **В. Д. Сидоренко, П. И. Федоренко, Н. В. Шолох, А. В. Переметчик**. – Кривой Рог: Издательский центр КТУ. – 265 с.
3. **Шолох М. В.** (2016). Методика визначення і нормування вмісту якісних показників корисних копалин у промислово-балансових запасах – Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ». – 160 с. Іл.
4. **Шолох М. В.** (2017). Нормування балансово-промислових запасів залізистих кварцитів по ступеню підготовленості до видобування відкритим способом. / Науково – техн. збірник «Гірничий вісник» ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг. – Вип. 45. – С. 172–178.
5. **Шолох М. В.** (2017). Нормування готових до видобування балансово-промислових запасів залізистих кварцитів при відкритому способі. / Сб. научных трудов «Качество минерального сырья». – ФАП Черняховский Д. А. – Кривой Рог. – С. 471–478.
6. **Шолох М. В.** (2018). Нормування балансово-промислових запасів залізистих кварцитів по ступеню підготовленості до видобутку. – С. 742–761. / The Second International scientific congress of scientists of Europe. – Proceedings of the II International Scientific Forum of Scientists «East–West» (May 10–11, 2018). Premier Publishing s. r. o. Vienna. 2018. 822 p. ISBN–13 978-3-903197-91-6; ISBN–10 3-903197-91-2.
7. **Шолох М. В.** (2018). Маркшейдерське забезпечення прогнозування і управління якісними показниками при розробці залізорудних родовищ. – С. 160–168. / Форум гірників – 2018: матеріали міжнар. конф., 10–13 жовтня 2018 р. – Дніпро: Середняк Т. К. – 2018. – 307 с. ISBN 978-617-7696-55-0.
8. **Шолох М. В., Сергєєва М. П.** (2018). Моделювання характеристик об'ємно-якісних показників потоків залізорудної маси кар'єрів і шахт. / Зб. наукових праць ДВНЗ «КНУ» «Гірничий вісник» Науково-технічний збірник: Кривий Ріг, 2018. – Вип. 103. – С. 17–22. ISSN 2306-5435.
9. **Шолох Н. В.** (1999). Горно-геометрический мониторинг прогнозирования качественных показателей железорудных месторождений. / Сб. науч. трудов второго международного симпозиума / 12–17 июля 1999. / Оперативный контроль и управлением качества минерального сырья при добыче и переработке. – Ялта. – С. 151–153.
10. **Шолох Н. В.** (2002). Оптимальные алгоритмы и программы для автоматизации построения горно-геометрических графиков. / Разработка рудных месторождений. – Выпуск № 78. – Кривой Рог. – С. 179–182.
11. **Шолох Н. В.** (2002). Программный модуль оптимизации промышленных запасов на глубоких железорудных карьерах. / Качество минерального сырья. – Кривой Рог. – С. 290–293.
12. **Шолох Н. В.** (2007). Оптимизация вскрытых запасов руды и направления горных работ в карьере. / Вісник КТУ, – Випуск № 16. – Кривий Ріг. – КТУ. – С. 42–44.
13. **Шолох М. В.** (2015). Моделювання процесів формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині рудного потоку. / Науково – техн. збірник «Гірничий вісник» ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг. – Вип. 100. – С. 111–116.
14. **Шолох М. В.** (2018). Моделі і критерії оптимізації якісних показників видобутку магнетитових роговиків. – С. 65–78. / The 6th International conference - Science and society – (August 3, 2018) Accent Graphics Communications & Publishing, Hamilton, Canada. 2018. 250 p. ISBN 978-1-77192-360-6.
15. **Шолох М. В.** (2018). Моделювання прогнозування мінливості вмісту якісних показників корисних копалин. 274–287. / The 3rd International youth conference – Perspectives of science and education – (July 6, 2018) SLOVO\WORD, New York, USA. 2018. 524 p. ISBN 978-1-77192-403-0.
16. **Sholokh M. V.** (2018). Optimization of preparedness for extraction of balance industrial mineral reserves. 133–165. / Topical issues of resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Petrosani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2018. – 270 p. ISBN 978-973-741-585-1.
17. **Sholokh M. V.** (2018). Determination and research of norms of the ferrous quartzites prepared to booty. 25–52. / Development of scientific foundations of resource-saving technologies of mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski», 2018. – 264 p. ISBN 978-954-353-355-8.
18. **Sholokh M. V., Sholokh S. M., Sergieieva M. P.** (2018). An analysis of surveyor control of losses of balance-industrial supplies is at mastering of bowels of the Earth. 415–438. / Innovative development of resource-saving technologies for mining. Multi-authored monograph. – Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski», 2018. – 439 p. ISBN 978-954-353-351-0.

Рукопис подано до редакції 17.04.2018

N. O. KARABUT, Senior Lecturer, D. V. SHVETS, Assistant Lecturer,
E. I. KIRILUK, Undergraduate Student
Kryvyi Rih National University

ENTERPRISE ERGONOMIC LIGHTING WITH THE USE OF LED TECHNOLOGIES

Purpose. To improve the energy efficiency of an enterprise by reducing electricity consumption of lighting devices and calculate the economic impact of the modern lighting technologies.

Methodology. Comparative analysis of the modern lighting technologies, their advantages and disadvantages in terms of the light flux power, efficiency, service life, ease of operation, and costs for implementation are shown. Development of software for calculating the economic effect of modern lighting devices for the enterprise.

Scientific novelty. Methods for improving the energy efficiency of enterprises by reducing the energy intensity of lighting devices are included. The comparative characteristics of the various lighting technologies, their advantages and disadvantages are presented. The types and systems of lighting are analyzed, the economic efficiency of replaced outdated lighting is determined.

Practical value. Up to 30% of the purchased energy resources is allocated to the production process. Lighting of industrial premises and workshops is one of the most energy-intensive areas. Payment for consumed energy of an enterprise is the main budget strain which increases yearly. The technology under study allows to save energy costs significantly. Moreover, replacing outdated lighting devices with LED lamps makes it possible to achieve almost tenfold energy savings in the enterprise.

Results. It has been established that the use of LED technologies and the replacement of outdated lighting devices with more modern ones is one of the most promising energy savings in the enterprise. The developed software for calculating the economic effect of modern lighting allows to calculate the investment, payback period and annual energy savings of an enterprise.

Keywords: energy efficiency, LED, lighting, energy saving.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-117-121

The problem and its connection with scientific and practical tasks. Energy saving at the enterprise is one of the most issues of the day faced by the industry. This is due to an increase in the cost of energy sources. Production spends plenty of finances for purchasing raw materials, maintenance work, but the most expensive is the payment for the energy components. Energy-saving activities that are conducted at enterprises can significantly reduce energy costs and accordingly will have a beneficial effect on the technical and economic performance of the enterprise. Increasing profitability and improving the potential competitiveness of products by reducing the cost of services will be forthcoming.

Analysis of research and publications. The poor state of energy efficiency is observed in both the public and the industrial sectors [1-14]. Indeed, payment for consumed energy at the moment is the main budget burden of any institution, and every year it increases significantly.

Formulating task. The operating modes of the lighting objects at the enterprises are oriented towards meeting the technological requirements of the objects, but in most cases, they are not optimal from the point of view of minimizing energy consumption. The level of energy consumption and reliability of these facilities, including their cost, reliability and power consumption modes does not meet the modern requirements of economy and reliability. In this regard, the urgent task is to study methods for improving the energy efficiency of enterprises by reducing the energy intensity of lighting devices.

Results and presentation materials. One of the most promising today is the technology of LED-lighting. LED (Light-emitting diode) is a technology that allows receiving light radiation at the point of contact between the cathode and the semiconductor connected to the anode (electrons interact with the emission of photons when passing through the semiconductor to the cathode). LED technology has several undeniable advantages in comparison with other light sources:

ability to withstand relatively harsh operating conditions (vibration, small shocks, water ingress, low temperatures, pressure);

low energy consumption (up to 10 times less than that of standard incandescent bulbs) and a high level of efficiency;

virtually don't contain compounds harmful to health and the environment (as opposed to fluorescent lamps and CCFL, which contain mercury);

durability (70-80 times higher than ordinary filament lamps, up to 80,000 hours and up to 2 times more durable than cold cathode lamps).

Cons of LED technology:

poor capability to resist high temperatures, which causes clouding of the light source and the surrounding material due to semiconductor decay;

narrow emission spectrum. However, quite successful work is currently underway to expand the spectrum for LCD monitors and TV.

Energy saving measures should be comprehensive. The effectiveness of the measures depends on the quality of energy audit conducted by the company and the scrupulous implementation of the requirements of energy auditors on the issues of saving electrical energy in production. To increase energy efficiency, use the following measures:

painting the indoor walls in light colors. This measure serves to increase the level of illumination of the room. Saving approximate 5-15% of electricity;

using windows with an increased area of double-glazed units, with a rational location relative to the course of the Sun. Savings - up to 20%;

prevent clipping and scattering of incoming light from windows by curtains or other objects. Savings - 1-5%;

maintaining cleanliness of light sources: windows, lights must be clean and light must pass well. Savings of 3%;

control of operating mode of lighting. Turn on the light only when needed, in the evening and avoid their work during off-hours. Savings - from 5%;

replacing outdated and energy consuming lamps with energy-saving lamps, the most economical lamps with LEDs. Savings in the segment of electricity consumption for lighting - from 50%.

Obviously, the last item is the most significant. Up to 30% of the purchased energy resources are spent on ensuring the production process and the maintenance of buildings [15]. Lighting is one of the most energy-intensive areas. Therefore, it is advisable to reduce the electricity consumption of lighting lamps. This is achieved by proper selection of specialized industrial lamps and the optimization of the working process of production equipment. Most buildings and premises do not meet modern requirements for energy saving; therefore, additional calculations are required to calculate the maximum level of energy efficiency. For clarity, a comparative table 1 of lighting devices is given, containing data on the parameters of heating, strength and radiated flux.

Also one of the most important issues is the illumination of workplaces in the enterprise. Due to workspace illumination creates a comfortable working environment and increases productivity. Insufficient illumination reflects badly on the vision of the worker. Incorrect workspace illumination can also lead to traumatic situations. Depending on the nature of the source of light energy, natural, artificial and combined categories of lighting exists, which is also divided into subcategories, therefore allowing to pick up correct type of illumination for each case which is shown in Fig. 1.

Table 1

Calculation of energy efficiency when installing various light sources

Name of the lamp	Incandescent	Halogen	CFL	LED
Parameters				
Heat	Hot	Hot	Hottest	Cool
Durability	Glass and filament breaks easily	Glass can break easily	Glass can break easily. Mercury warning	Rugged. Special coat to prevent flying shards
Input power (W)	75	45	15	8
Light output (Lumens)	800			
Light quality	Bright and warm. Instant bright light	Look and perform like incandescent	Bright and warm. Takes time to warm up to full light	Bright and warm. Color options. Newer bulbs are multidirectional. Instant bright light
Life span (hours)	1000	2500	10000	30000
Cost (uah)	10	35	50	90

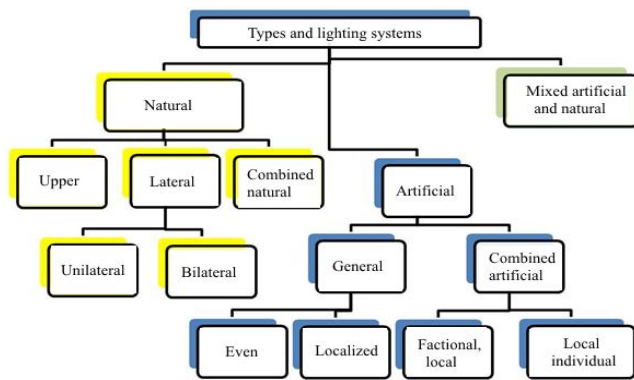


Fig 1. Types and lighting systems

Natural lighting subdivided into the side lighting (single or double sided) when light enters a room through light openings in external walls; upper, carried out through the lights and light openings in the roof; top and side combining top and side lighting.

Combined lighting used in rooms with insufficient natural light, which is complemented by electric light sources that work

not only in the dark but also in the daytime.

Artificial (electric) lighting is divided by the nature of the tasks into working, emergency, evacuation, security, and duty. Working lighting arrange in all premises, as well as in open areas, intended for work, the passage of people and traffic.

We carry out economic calculations. If the lighting at the enterprise is operating in continuous mode, it is possible to calculate the hours of operation of one lamp per year using the formula

$$T = t \times d, \quad (1)$$

where t is the number of hours; d is the number of days in a calendar year.

Substituting the values in the formula we get

$$T = 24 \times 365 = 8760 \text{ hrs.}$$

Accordingly, the amount of electricity consumed during the year by one lamp can be calculated using the following formula

$$W = (T \times P) / 1000 \text{ (kW} \cdot \text{h)}, \quad (2)$$

where P – the power of an individual lamp in watts; T – the number of hours of operation of one lamp per year, the division of the expression by 1000 in the formula is presented for translating the answer from watt-hours to kilowatt-hours.

Substituting the values in the formula we get corresponding values for each lamp:
incandescent lamp

$$W_i = (8760 \times 75) / 1000 = 657 \text{ kW} \cdot \text{h};$$

halogen lamp

$$W_h = (8760 \times 45) / 1000 = 394.2 \text{ kW} \cdot \text{h};$$

compact fluorescent lamp (CFL)

$$W_c = (8760 \times 15) / 1000 = 131.4 \text{ kW} \cdot \text{h};$$

light-emitting diode (LED) lamp

$$W_l = (8760 \times 8) / 1000 = 70 \text{ kW} \cdot \text{h}.$$

In accordance with the data of the National Committee, the state of affairs of regulation in the fields of energy and public utilities (NKREKP) in the Dnipropetrovsk region the tariff for industrial consumers in the IV quarter of 2018 is 1.63754 uah / kW · h [16].

Calculate the prime cost of one lamp per year we can use the following formula

$$E = a \times W_x \text{ (uah)}, \quad (3)$$

where a and r the electricity tariff for enterprises in kWh and the power of an individual lamp in watts respectively. Substituting the values for each lamp in the formula we get for

incandescent lamp

$$E_i = a \times W_i = 1,63754 \times 657 = 1075,86 \text{ (uah)};$$

halogen lamp

$$E_h = a \times W_h = 1,63754 \times 394.2 = 645,51 \text{ (uah)};$$

CFL

$$E_c = a \times W_c = 1,63754 \times 131.4 = 215,17 \text{ (uah)};$$

LED lamp

$$E_l = a \times W_l = 1,63754 \times 70 = 114,62 \text{ (uah)}.$$

As we can see, replacement of incandescent bulbs with LED bulbs allows us to achieve almost tenfold savings in electricity consumption.

In the course of the research, a computer program was developed that allows to calculate the economic effect of the introduction of modern lighting devices in enterprises, a screenshot of which is shown in Fig. 2.



Fig. 2. The main program window for calculating the economic effect of modern lighting devices in enterprises

Conclusions and directions for further research. Studies have shown that the use of LED lamps is the most promising direction for energy saving in the enterprise. The developed software for calculating the economic effect of the introduction of modern lighting devices allows you to calculate the investment, payback period and annual energy savings. Regarding further research, it will focus on the efficiency assessments of light sensors on enterprises.

References

1. Толмачов С. Т. Аналіз основних показників енергоефективності в ДВНЗ "Криворізький національний університет" / С. Т. Толмачов, О. В. Ільченко, Д. В. Батраков, С. Л. Бондаревський, Ж. Г. Рожненко, Р. О. Пархоменко // Вісник Криворізького національного університету. - 2012. - Вип. 32. - С. 98-102.
2. Tsmots I., Teslyuk T., Teslyuk V. Priority selection model for energy-saving investment projects at an enterprise / Actual Problems of Economics. - 2017. - P. 398-408.
3. Джеджула В. В. Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління : монографія / В. В. Джеджула. - Вінниця : ВНТУ, 2014. - 346 с.
4. Афанасьєв М.В. Стратегія підвищення енергоефективності промисловості регіону: теоретико-методичні аспекти формування : [монографія] / М.В. Афанасьєв, Т.І. Салашенко. - Харків : ХНЕУ, 2014. - 284 с.
5. Гашо Е.Г. Повышение энергоэффективности как двигатель модернизации промышленности / Е. Г. Гашо, М. В. Степанова [Електронний ресурс]. - Режим доступа : http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5609.
6. Лір У.Є. Економічний механізм реалізації політики енергоефективності в Україні / У. Є. Лір, В. Е. Письменна // Ін-т економіки та прогнозування – К., 2010. – 208 с
7. Пилипенко Н. В., Сиваков И. А. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности инженерных систем и сетей. Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 274 с.
8. Климова Г. Н. Энергосбережение на промышленных предприятиях: учебное пособие / Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 180 с.
9. Мансуров, В. А. Основы энергосбережения: учеб.-метод. пособие / В. А. Мансуров. – 2-е изд., перераб. – Минск : БГМУ, 2013. – 60 с.
10. Дзянкевич Ю. В., Бурак М. В., Розум Р. І. Методи оцінки ефективності інвестицій в енергозбереження // Інноваційна економіка.– 2011.– №2. – С. 119–122.
11. Маценко О. М. Економічні засади організації менеджменту з енергозбереження підприємств / О. М. Маценко, Д. М. Овчаренко // Економічний простір: зб. наук. праць. – 2014. – № 85. – С. 246–255.
12. Бархатов О. М. Проблеми енергозбереження в Україні / О. М. Бархатов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2013. – № 142. – С. 88–89.
13. Бакалін Ю. І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: Навчальний посібн.-3-е вид., доп. та перероб.-Харків: Бурун і К, 2006.-320 с.
14. Данилов О. Л. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов: В 7 разделах: Электронная библиотека / О. Л. Данилов, П. А. Костюченко. - М: Технопромстрой, 2006.-668 с.
15. Запольских С. А. Повышение эффективности потребления энергии жилыми и общественными зданиями, а также промышленными. - Режим доступа: www.samlib.ru/z/zapolskikh_s_a/ (дата обращения 28.12.2018)
16. Роздрібні тарифи на електроенергію для побутових споживачів - Режим доступа: www.nerc.gov.ua/?id=34869 (дата звернення 20.12.2018)

The editorial board received a manuscript on 16.04.2018

ВИКОРИСТАННЯ ВОДНОГО РОЗЧИНУ ПАР «ЛЕКСОЛ» ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ПИЛОВИДІЛЕННЯ НА ПРИКЛАДІ КАР'ЄРА ПРАТ «ІНГЗК»

Мета. Метою роботи є проведення промислових досліджень з визначення ефективності використання водного розчину ПАР «Лексол» для зниження пиловиділення при проведенні масових вибухів і зв'язування пилу на автодорогах кар'єрів, а також перевірка методів та способів нанесення водного розчину антипилового реагенту ПАР «Лексол» в ході експерименту.

Методи досліджень Інструментальні вимірювання запиленості атмосферного повітря в кар'єрі безпосередньо біля підриваємих блоків за допомогою спеціальних приладів для автоматичного відбору запиленого повітря, оброблених поверхнево - активною речовиною «Лексол» і без обробки при щелевій набійці свердловин. Інструментальні виміри запиленості автодоріг кар'єра при русі по ним технологічного автотранспорту до і після обробки поверхнево - активною речовиною «Лексол».

Наукова новизна. Вперше були проведені дослідження антипилового реагенту ПАР «Лексол» в промислових умовах кар'єру для пилепригнічення пилогазової хмари при вибухових роботах та отримані позитивні результати пилозв'язування на технологічних автодорогах при інтенсивному русі автосамоскидів по її поверхні при температурах навколишнього середовища вище 25°C.

Практична значимість. Практична значимість роботи полягає в проведенні досліджень ефективності пилопригнічення при проведенні масових вибухів на кар'єрі в реальних умовах виробництва, що дало змогу знизити викиди в атмосферу пилу на 21%. Проведені дослідження дозволяють проводити заходи по зниженню пилових викидів в навколишнє середовище від технологічних робіт на залізничних комбінатах, що призведе до зниження запилення в жилих масивах, розташованих біля цих виробництв.

Результати. На підставі проведених промислових досліджень підтверджена ефективність запропонованого методу, щодо пилоподавлення при проведенні вибухових робіт із застосуванням водного розчину антипилового реагенту "Лексол-5". Під час нанесення водного розчину реагенту і в наступні дні не виявлено запаху чи інших негативних властивостей ПАР «Лексол». В ході проведення досліджень визначено ефективний час збереження в'язучих властивостей реагенту на поверхні автодоріг, який становить близько 10 днів. При повторному нанесенні водного розчину ПАР «Лексол» тривалість часу ефективного зв'язування пилу буде зростати.

Ключові слова: кар'єр, масовий вибух, автодорога, пилоподавлення.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-121-125

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. При проведенні масових вибухах у кар'єрах в атмосферу викидається значна кількість пилу і газів, більша, ніж при інших технологічних процесах гірничого виробництва. Пилогазова хмара, що утворюється під час вибуху, забруднює атмосферу не тільки кар'єрів та їх промислових майданчиків, а й територію прилеглих до них районів.

Пилоподавлення при масових вибухах базується в основному на використанні методу зрощення підриваємих блоків до, під час і після проведення масових вибухів.

Одним з найбільш відомих і широко застосовуваних способів боротьби з пилом при вибухах є водяні гідро набійки різних видів [1,2]. Типи гідронабійок розроблені НДБПГ КНУ і включають зовнішні, внутрішні і комбіновані гідро набійки. У «Керівному документі по використанню зволоженою набійки...» [1] вказані технологічні рекомендації щодо застосування набійок, організації їх використання, а в «Типових заходах ...» [2] наведені значення ефективності застосовуваних заходів по пилогазоподавленню при масових вибухах.

Однак існуючі заходи по скороченню пилогазових викидів в атмосферу при проведенні масових вибухів до теперішнього часу не вирішили цю проблему. Крім того, реалізація більшості методів пов'язана з певними фінансовими витратами. Тому розробка нових способів зволоження підриваємих блоків розчинами сучасних реагентів, які виробляються в Україні є необхідною і актуальною.

Кар'єрні автодороги також є одним з основних джерел виділення пилу в атмосферу кар'єру і навколишнє середовище. Результати досліджень показують, що маса пилу, яка виділяється з поверхні автодоріг під час транспортування гірничої маси автосамоскидами в сухий теплий період року, може досягати декількох десятків тонн на місяць. Пил, що виділяється з кар'єрних автодоріг, забруднює повітря робочих зон кар'єрів і погіршує санітарно-гігієнічні умови праці

гірників. Висока запиленість повітря ускладнює видимість на автошляхах, особливо в темний період доби, що створює умови для аварійних ситуацій під час руху технологічного автотранспорту. Крім того, частина пилу виноситься з кар'єрного простору, що призводить до забруднення атмосферного повітря прилеглих територій.

Пилоутворення на автодорогах відбувається внаслідок пиління гірничої маси, яка просипається з кузова автотранспорту, утворення пилу колесами автомашин, зносу матеріалу полотна автодороги. На інтенсивність пиловиділення на автодорогах впливають в основному фізико-механічні властивості матеріалу покриття, швидкість руху, маса і тип автомобіля, розміри дороги і метеорологічні умови.

Раніше проведеними дослідженнями для пилоподавлення на кар'єрних автодорогах, найчастіше, рекомендувалися такі засоби як вода, лігносульфонати, і відходи нафтопереробної промисловості [3,4]. Недоліком води і лігносульфонатів є те, що в суху спекотну погоду вони відносно швидко висихають, що сприяє подальшому інтенсивному пиловиділенню при русі автотранспорту. Відходи нафтопереробної промисловості в даний час знаходять своє застосування як вторинна енергетична сировина.

В роботі [5] проводилися дослідження з використання для боротьби з пилом на кар'єрних автодорогах лужного стоку виробництва капролактаму, речовини «Северин», які є відходом, утвореним в результаті переробки нафти; суміші «Северина» з добавкою синтетичного каучуку СКС-30 і вуглелужного реагенту.

З огляду на збільшення глибини кар'єрів, і як наслідок збільшення протяжності кар'єрних автодоріг, призводить до зростання обсягів пиловиділення з поверхні доріг. У зв'язку з цим рішення проблеми зниження пиловиділення на кар'єрних автошляхах є важливою і необхідною.

Ефективними речовинами для пиловз'язування на кар'єрних автодорогах слід вважати ті, які мають низьку інтенсивність випаровування, і здатність до безперервного зв'язування пилу. Однак навіть сама високоефективна пиловз'язуюча речовина не може забезпечити запобігання пиловиділення з автодороги на протязі тривалого часу, якщо ця дорога побудована з відхиленнями від відповідних правил. Це пояснюється тим, що розчин буде утворювати тонку плівку, яка буде руйнуватися під колесами автосамоскидів. Виходячи з цього, слід зазначити, що ефективність будь-якого пилоподавляючого розчину буде залежати від якості дорожнього покриття. Тому будівництво доріг необхідно проводити відповідно до чинних нормативних документів та інструкцій з будівництва кар'єрних автодоріг.

При виборі пиловз'язуючого реагенту для ефективного пилоподавлення при проведенні масових вибухів і зниження пиловиділення на кар'єрних автодорогах необхідно також враховувати його конкурентну вартість і умови виробництва обраного реагенту в Україні.

Постановка завдання. Задачею дослідження є визначення ефективності використання водного розчину ПАР «Лексол» для зниження пиловиділення при проведенні масових вибухів і зв'язування пилу на автодорогах кар'єрів.

Поставлена задача вирішувалася за допомогою проведення промислових досліджень з визначення ефективності зниження пилоутворення при проведенні масових вибухів шляхом попереднього зволоження підриваємих блоків водним розчином ПАР «Лексол» і зв'язування пилу на кар'єрних автошляхах при їх поливі водним розчином пропонованого реагенту.

Виклад матеріалу і висновки. Антипиловий реагент «Лексол-5» представляє собою водний розчин гліцеринового компоненту рослинного походження, призначений для закріплення ерозійно-небезпечних поверхонь полімінерального складу, які пилять на хвостосховищах, на відвалах гірських порід, при транспортуванні залізної руди в залізничних вагонах; реагент використовується для захисту довкілля в залізорудній, вугільній, будівельній промисловості, енергетиці.

Реагент сприяє боротьбі з пилом завдяки наявним зв'язуючим і гігроскопічним властивостям. Відповідно додавання даного реагенту «Лексол» ефективно для змочування поверхонь сипучого матеріалу і запобігання утворенню пилу. Цей реагент може бути придатний для змочування будь-якого сипучого матеріалу або поверхні здатної утворювати пил при перемішуванні, транспортуванні, обробці, вітровій ерозії.

З метою боротьби з пилом «Лексол», зазвичай розбавляють пом'якшеною водою, що містить приблизно від 5% до 80% маси реагенту. Для нанесення реагенту на сипучий матеріал витрата його становить близько 200 – 2400 г «Лексола» на тонну сипучого матеріалу. Для на-

несення реагенту «Лексол» на пилячу поверхню витрата його становить 240 – 1200 г реагенту на 1 кв. метр поверхні в залежності від способу нанесення, стану атмосфери, наявності частоти опадів, температури навколишнього середовища. Оптимально в літній період при слабких опадах використовувати 3% склад реагенту, а в більш дощову погоду і в морози 5% склад реагенту. При розпилюванні реагенту на поверхню витрата становить 240 – 300 г/м², при використанні поливального обладнання витрата може зростати до 500 – 1200 г/м².

На реагент «Лексол» отримано Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи № 05.03.02-07/29643 від 30.04.2014 року [6], та на ТУ У 20.5-39086735-001:2014 [7]

У кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК» у вересні 2017 р. були проведені експериментальні вибухи із застосуванням антипилового реагенту ПАР "Лексол-5". Вибухи проводилися на горизонті -360м.

Досліджувані підриваємі блоки ділились по довжині на дві однакові ділянки. На першій ділянці блока на поверхню наносився водний розчин ПАР «Лексол-5» з витратою 2,0–2,5 літри на 1 м² досліджуваної поверхні шляхом його розпилення за допомогою поливальної машини з гідромонітором. На другій ділянці засоби пилоподавлення не використовувались. В якості засобу для доставки і нанесення ПАР «Лексол» на поверхню підриваємої ділянки блока застосували поливальну установку на базі автомобіля БелАЗ з цистерною місткістю 30 м³, обладнану насосом та гідромонітором.

Вимірювання концентрації пилу в атмосферному повітрі після проведення масового вибуху з використанням розчину ПАР «Лексол» на підриваємому блоці проводилась лабораторією промислової екології НДІБПГ ДВНЗ «КНУ» по відповідній методиці [8].

При проведенні масових вибухів на досліджуваних блоках проводилась зйомка розвитку пилогазової хмари. Аналіз проведеної фотореєстрації показав, що над обробленою водним розчином поверхнево-активної речовини «Лексол» ділянкою підриваємого блоку розвиток пилогазової хмари менш виражений, ніж над необробленою (рис.2).

Ефективність застосування антипилового реагенту «Лексол» при нанесенні його на поверхню підриваємого блоку підтверджується також протоколами промислових досліджень.

На підставі проведених досліджень визначено ефективність заходу із застосуванням водного розчину реагенту «Лексол-5», яка в середньому склала 21% по пилу. По газоподібним забруднюючим речовинам ефективність не спостерігалася.

Одночасно з проведенням промислових досліджень по визначенню ефективності зниження запиленості на підриваємих блоках проводилися роботи по зволоженню кар'єрних доріг водним розчином поверхнево-активного реагенту «Лексол-5». Процес зрошення технологічного автошляху в кар'єрі наведено на рис.3.

Зрошення поверхні автодоріг проводилось 3% водним розчином ПАР «Лексол» з витратою 0,4 л/м² - 0,5 л/м² за допомогою поливальної машини на базі автомобіля БелАЗ.

Для отримання порівняльних характеристик ефективності зв'язування пилу на пилячих поверхнях кар'єрних автодоріг заміри запиленості повітря проводилися на двох однакових експериментальних ділянках автодороги: I - на ділянці без нанесення ПАР, II - на ділянці з нанесенням ПАР «Лексол». Розміри ділянок обиралися рівнозначними з довжиною ділянки 500 м. Самі заміри пиловиділення з поверхні дороги проводилися методом відбору проб забрудненого повітря в одних і тих же умовах за методикою [9].



Рис.2. Формування пило-газової хмари після вибуху досліджуваного блоку №166 в період 08.09.2017р.



Рис.3. Процес зрошення технологічного автошляху в кар'єрі

Ділянка автодороги для вимірів приймалася довжиною близько 10 м. Це середня відстань, яку проїжджає автосамоскид за 1 секунду при середній швидкості руху в навантаженому стані 30 км/год і в порожньому – 40 км/год.

На зволжених ділянках дороги відразу після поливу ефективність знепилювання 3% водним розчином ПАР «Лексол» склала 85%, на третій день після поливу - 45-50%, через 2 тижні - 10%.

Висновки і направлення подальших досліджень. В ході досліджень було підтверджено процес зв'язування поверхнево-активною речовиною «Лексол» дрібнодисперсних частинок пилу, що залишилися на поверхні підриваємого блоку після бурових робіт на його поверхні, і які активно беруть участь в загальному процесі формування пилогазової хмари.

При 3% концентрації водного розчину антипилового реагенту «Лексол-5» середня ефективність пилоподавлення склала 21%.

Промислові дослідження також показали можливість попереднього зволоження підриваємого блоку за два дні до моменту вибуху. Випаровування застосовуваного реагенту на зволоженому блоці в теплий період року не відбувається внаслідок великої гігроскопічності пилових частинок, які утворюють захисну плівку з реагенту «Лексол-5».

При зволоженні кар'єрних автодоріг 3% водним розчином ПАР «Лексол» визначено ефективність запропонованого способу зв'язування пилу на поверхні доріг, яка складає від 85% до 45%, що дозволяє рекомендувати його застосування в промислових умовах.

Промислові дослідження підтвердили нешкідливість ПАР «Лексол». Під час нанесення водного розчину реагенту і в наступні дні не виявлено запаху чи інших негативних властивостей ПАР «Лексол».

В ході проведення досліджень визначено ефективний час збереження зв'язаних властивостей реагенту на поверхні автодоріг, який становить близько 10 днів. При повторному нанесенні водного розчину ПАР «Лексол» тривалість часу ефективного зв'язування пилу буде зростати.

Застосування реагенту «Лексол» економічно доцільно у зв'язку з його конкурентною ціною і виробництвом в Україні.

Характеристики антипилового реагенту «Лексол-5» згідно технічного паспорту дозволяють його ефективне застосування в холодний період року до негативних температур $-7,5^{\circ}\text{C}$, а 30% водного розчину реагенту «Лексол-30» – до -30°C .

Застосування водного розчину поверхнево - активної речовини «Лексол» можливе в якості антизмерзаючої речовини при транспортуванні сипучих вантажів.

Реагент «Лексол» економічно ефективний - при мінусовій температурі дозволяє уникнути використання «теплярів» при розвантаженні вагонів, мінімізувати час простою рухомого складу. Витрата реагенту: 0,15-0,3 літра 30% водного розчину на 1 м^2 оброблюваної поверхні.

Для визначення ефективності антизмерзаючого ефекту потрібно проведення досліджень властивостей реагенту «ЛЕКСОЛ» у промислових умовах в зимовий період часу.

Список літератури

1. Керівний документ по використанню зволоженої забійки зарядів ВР при вибухових роботах на кар'єрах, по дегазації підірваної гірничої маси і очищенню атмосфери від шкідливих продуктів вибуху. – Кривий Ріг – 1997р.- КТУ.НДІБТГ. - с.9.
2. Типові заходи по зменшенню викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря при використанні масових вибухів на кар'єрі ПАТ «ІнГОК». – Кривий Ріг -2015р. -3с.
3. **Просандєєв М.І., Козлова Л.М.** – Основні шляхи адаптації технологій відкритих гірничих робіт до вимог сталого розвитку суспільства. – Екологія і природокористування. – 2011р. Випуск №14. – с.143 – 160.
4. **Кошкарів В.Е.** – Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. «Технология обеспыливания карьерных автодорог на основе битумно – полимерных материалов.- ФГБУ ВПО «УрГУПС». - Екатеринбург.- 2014г.-150с.
5. **В.Ю. Тыщук**– Разработка и исследование средств пылеподавления на карьерных автодорогах на основе микрокапсулированных растворов.- «НИИБТГ» ГВУЗ «Криворожский национальный университет». – Вісник Криворізького національного університету. - Кривий Ріг. – 2013р.
6. Заключение государственной санитарно-эпидемиологической экспертизы № 05.03.02-04/35332 от 27.05.2014 года на реагент антипыльный «Лексол» (ТУ У 20.5-39086735-001:2014): «Лексол-5», «Лексол-10».
7. Заключение государственной санитарно-эпидемиологической экспертизы № 05.03.02-07/29643 от 30.04.2014 года на ТУ У 20.5-39086735-001:2014
8. Методические указания по определению и расчету неорганизованных выбросов пыли и ядовитых газов массовыми взрывами и экскаваторными забоями в карьерах. – Кривой Рог, ВНИИБТГ, 1985. – 27 с.

9. Инструкция по обеспыливанию автомобильных дорог на открытых горных разработках предприятий черной металлургии. – Москва, ВНИИБТГ МИНЧЕРМЕТ СССР, 1988. – 28 с.

10. Guidance document on the use of moist damping of explosive charges during blasting operations on quarries, de-gassing of blown up mines and purifying the atmosphere from harmful explosive products. - Kryviy Rih - 1997. - KTU. RILFEMMI. - p.9.

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

УДК 628.312.5:004.031.2

Н. Н. ШАПОВАЛОВА, ст. викладач, І. Ю. БОГАЦЬКИЙ, О. Ю. ШТАНЬКО, студенти,
Криворізький національний університет

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗА РІВНЕМ ЗАБРУДНЕННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД

Мета. Розробити апаратно-програмний комплекс контролю стану стічних вод, розглянути основні антропогенні джерела забруднення водного середовища, ознайомитись з критеріями забруднення водойм, проаналізувати методи визначення рівня забрудненості за відповідними критеріями, визначити склад води за такими параметрами: температура, мутність, рівень кислотності. Створити спеціальне програмне забезпечення по відстеженню фактичних значень критеріїв виміру забруднення стічних вод, побудові графічних зображень та збереженню показів від датчиків якості стічних вод.

Методи доладження. Мутність – властивість води, обумовлена наявністю нерозчинних речовин органічного та неорганічного походження. Причиною є мулісті частки, кремнієва кислота, гідроксиди заліза та алюмінію, органічні колоїди, мікроорганізми та планктон. Рівень мутності визначається методом турбідиметрії. Рівень кислотності визначається методом виміру напруги між двома електродами, опущеними в розчин. Визначення температури води відбувається шляхом занурення термометра у воду, при цьому вона не повинна освітлюватися сонцем. Були використані загальнонаукові методи теоретичного дослідження: аналіз складу стічних вод, синтез отриманих даних, моделювання процесу визначення рівня забрудненості води, узагальнення; методи емпіричного дослідження: вивчення досвіду в області поставленого завдання, тестування отриманої моделі; методи об'єктно-орієнтованого проектування та програмування.

Наукова новизна. Визначено фізичні показники забрудненості стічних вод, а саме: ступінь мутності, кольоровості та рівень кислотності. Запропоновано підходи до вирішення проблеми контролю якості стічних вод на основі апаратно-програмного комплексу контролю якості стічних вод.

Практична значимість виконаної роботи полягає у визначенні фізичних показників забрудненості стічних вод та вирішенні проблеми забруднення водойм за рахунок завчасного попередження виникнення надзвичайних ситуацій. Вимірювальна станція є системою раннього виявлення забруднень. Апаратно-програмний комплекс має широке коло застосування, починаючи з промислових стічних вод, і, закінчуючи питною водою.

Результати. Розроблено апаратно-вимірювальний комплекс контролю фізичних показників стічних вод, відстеження, зберігання інформації фізичних показників складу стічних вод та побудови графічних зображень на основі фізичних показників якості стічних вод.

Ключові слова: апаратно-програмний комплекс, функціонал якості, мутність, водневий показник, метод турбідиметрії, детектор розсіяного світла, потенціометричний аналіз.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-125-130

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Постійний розвиток усіх галузей промисловості, енергетики, сільського і комунального господарств потребує значного водоспоживання, як результат – збільшення кількості стічних вод. Потрапляючи в поверхневі й підземні джерела вод, стічні води забруднюють їх шкідливими домішками, небезпечними для життя людини. Сучасний стан водних ресурсів України знаходиться у критичному положенні. Офіційна статистика вказує, що кожного року у водойми України скидають більше 300 млн кубометрів неочищених стоків, майже у кожній з водойм зафіксовано перевищення допустимих норм забруднення [1].

Збереження й охорона водних ресурсів від забруднення – одна з найважливіших проблем людства. Особливе місце займає питання охорони водойм від забруднення стічними водами промислових підприємств, основна частина яких розташована у великих містах. Нині велика кількість підприємств продовжують випускати неочищені або недостатньо очищені стоки. Такі підприємства караються шляхом накладення штрафів, але сплачені кошти не компенсують на-

несених збитків, водойма не відновлюються, тому потрібно замість скидання забруднених вод застосовувати ефективні системи попередження забруднення і очищення стічних вод.

В статті розглянуто принцип побудови апаратно-вимірювального комплексу раннього виявлення забруднень, склад програмного забезпечення, також розроблено рекомендації щодо доцільності використання апаратно-програмного комплексу раннього виявлення рівня забруднення стічних вод.

Аналіз досліджень і публікацій. Найбільша частка забруднень, у вигляді неочищених стоків, припадає на підприємства гірничо-металургійного комплексу. Так, в 2009 р. їх обсяг склав близько 45% викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, які потім потрапляють у водні ресурси. Найбільші викиди забруднюючих речовин у Кривому Розі та Алчевську – 99 %, Маріуполі та Дніпродзержинську – 95 %. Площа Дніпровської області становить 31,9 тис. км², під водою знаходиться 5 % території, головною артерією є ріка Дніпро. На душу населення припадає лише 0,57 тис. м³ прісної води на рік, в той час як у Європі цей показник складає 4,6 тис. м³ [2].

За останні 3 роки спостерігається часткове зменшення забруднення, проте ці обсяги все ще мають великі показники. Підземні води забруднені практично по всій території області, та найбільш забруднені вони в Криворізькому, Широківському та Софіївському районах нафтопродуктами та важкими металами [3].

Рівень очищення води на сьогодні надзвичайно низький. Промислові підприємства продовжують випускати неочищені стоки, вода використана для гасіння відвалів, гідрозакладки, боротьби з пилом на поверхні шахт і кар'єрів, мокре збагачення корисних копалин продовжує потрапляти у ґрунт без попереднього проходження фільтрації. Наявні методи очищення води дають можливість очистити стічні води на 95%, але на практиці очищення відбувається максимум на 70 % або не відбувається зовсім [4].

Наразі питання контролю скидання забруднених стічних вод у водоймища займає важливе місце. Виробничий контроль за скиданням забруднюючих речовин у водойму на підприємствах здійснюється на підставі офіційно виданих норм і правил, необхідних для організації і проведення виробничого контролю, затверджених нормативно-методичних документів контролю і схеми проведення лабораторного контролю за роботою очисних споруд, скиданням стічних вод і якістю річкової води [5].

Таким чином, контроль якості стічних вод включає: контроль за дотриманням встановлених нормативів скидання забруднюючих речовин у водний об'єкт; контроль за ефективністю роботи очисних споруд; контроль за станом водного об'єкта; контроль за скиданням забруднюючих речовин у разі виникнення аварійних ситуацій і усунення їх наслідків.

Для аварійного скидання кислот або лугів на промислових підприємствах повинен передбачатися приймальний резервуар відповідної ємності [6, 7]. Контроль за величиною рН скиданих в каналізацію стічних вод повинен бути автоматизований.

При відсутності контролю викидів стічних вод може розпочатися незворотній процес по знищенню водоймищ. Це досить скоро може призвести до втрати річок, які є постачальниками питної води. Жителі України, що споживають ресурси річки, можуть залишитися без питної води вже в найближчий час. Наслідки забруднення водного середовища можуть бути різноманітними для здоров'я людини.

Постановка завдання. Існує проблема контролю якості стічних вод. Традиційним є напрямок, пов'язаний з розробкою автоматизованих інструментальних систем аналізу, які в реальному часі дозволяють визначати вміст домішок. Для контролю джерел скидання стічних вод на рельєф і в водойми, в тому числі на віддалених виробничих об'єктах, передбачено використання мобільних аналітичних лабораторій [8]. Спостереження і контроль за рівнем забруднення поверхневих вод здійснюється на основі фізичних та хімічних показників. Устаткування мобільних станцій дозволяє забезпечити експрес-аналіз основних фізико-хімічних параметрів зразків води, а також доставку показників проб для детального аналізу.

Склад стічної рідини, яка надходить на обробку, різко коливається протягом не тільки доби, а й однієї години. Нерідкі випадки залпових скидів, коли концентрація забруднень зростає в сотні разів. У таких випадках з'являються проблеми пов'язані з часом обробки вхідних даних. У цих умовах задовільну обробку води можуть забезпечити тільки автоматичні станції.

При стандартному контролі за викидами необхідно встановити наявність стічних вод і відходів, визначити їх склад і характер.

Фізичний склад води визначається рівнем кислотності, мутності та кольоровості. Величина рН визначається кількісним співвідношенням у воді іонів H^+ і OH^- , що утворюються при дисоціації води. Якщо іони OH^- у воді переважають - тобто $pH > 7$, то вода буде мати лужну реакцію, а при підвищеному вмісті іонів H^+ - $pH < 7$ - кислу.

Залежно від рівня рН води можна умовно розділити на кілька груп: сильно-кислі води < 3 ; кислі води $3 - 5$; слабо-кислі води $5 - 6,5$; нейтральні води $6,5 - 7,5$; слабо-лужні води $7,5 - 8,5$; лужні води $8,5 - 9,5$; сильно-лужні води $> 9,5$.

Залежно від величини рН може змінюватися швидкість протікання хімічних реакцій, ступінь корозійної агресивності води, токсичність забруднюючих речовин і багато іншого. При низькому значенні рівня рН вода стає кислим і дуже агресивним середовищем [9]. Це призводить до позеленіння води, великої витрати хлору, а також появи іржі на металевих частинах очисного обладнання. Якщо значення рН високе, значить, у воді міститься багато луку. Вода стає каламутною, навіть при високому вмісті в ній дезінфікуючих засобів (хлору, активного кисню тощо), утворюються пластівці. Вода стає небезпечною, якщо потрапляє на шкіру (починає дратувати шкіру і очі). Починається осадження кальцію на стінках водопроводу, насосному та іншому обладнанні, що може привести до його поломки.

Якщо рівень рН вище або нижче норми – ефективність дезінфікуючих засобів для обробки води сильно знижується, що може призвести до різних проблем з водою. Нормальний рівень рН становить від 7,0 до 7,6 одиниць [10]. Апаратно-вимірвальний комплекс контролю якості води дозволить завчасно передбачити та попередити факти виявлення підвищеного рівня мутності та рН рівня у воді, що дозволить завчасно прийняти міри по очищенню води та збереженню обслуговуючого обладнання. Безперервний об'єктивний контроль за всіма викидами стічних вод в межах водоохоронних комплексів дозволяє створити умови для планомірного і економічно обґрунтованого зниження скидання шкідливих речовин кожним водокористувачем шляхом більш глибокого очищення стічних вод, для потреб промисловості і сільського господарства без викидів у водний об'єкт.

Викладення матеріалу та результати. Використання апаратно-вимірвальних комплексів обумовлено їх швидкістю обробки даних та наданням за короткий час результатів експрес-аналізів стічних вод. Комплекси дозволяють контролювати рівні мутності та кислотності стічних вод, за результатами котрих перевіряється ефективність роботи очисних споруд.

Місця використання включають в себе свердловини, колодязі, системи водо-підготовки, системи гідропоніки, басейни та акваріуми.

Для використання станції слід занурити відповідні датчики у воду та отримати результати експрес-аналізу.

Алгоритми турбидиметрії дозволяють отримувати результати заміру рівня мутності стічних вод. Датчики мутності працюють на основі фотоелектричного ефекту інтенсивності світлового потоку, що пройшов через контрольовану середу. Визначення змісту зважених речовин здійснюється на підставі залежності між оптичною щільністю досліджуваного середовища і кількістю нерозчинних в середовищі частинок [11]. Принцип роботи датчика полягає в тому, що промінь світла від джерела формується лінзою і проходить через шар досліджуваного середовища, обмеженого захисним склом (рис. 1).



Рис. 1. Внутрішня складова датчика мутності

За допомогою об'єктива світловий потік концентрується на світлочутливому шарі приймального фотодіода. Датчик містить спеціальний елемент для підтримки постійного рівня інтенсивності вихідного світлового потоку. Частина світлового потоку від випромінювача направляється дзеркалом на лінзу, яка концентрує потік на світлочутливому шарі фотодіода.

Результат вимірювань надається в одиницях виміру – мг/л [12]. Шукану величину можна отримати аналітичним шляхом, підставляючи отримане значення напруги у формулу 1

$$y(x) = -1120,4x^2 + 5742,3x - 4352,9. \quad (1)$$

Зв'язок між рівнем мутності та отриманим значенням напруги від датчика зображено на рис. 2.

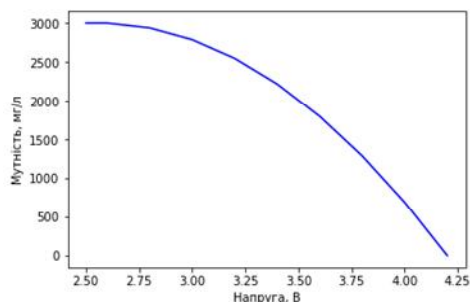


Рис. 2. Залежність напруги від рівня мутності

Датчик кислотності являє собою мілівольтметр. Принцип роботи електроду полягає у зануренні в рідину двох електродів: вимірювання та порівняння. Потенціал вимірювального електроду $U_{\text{вим}}$ (формула 2) відносно розчину лінійно залежить від величини рН розчину.

$$U_{\text{вим}} = a + b \cdot \text{pH}, \quad (2)$$

де a, b – константи.

Потенціал електроду порівняння подається на другий вхід рН-метра. Електрод порівняння слугує нулем відліку. Якщо ми опускаємо електрод порівняння в розчин, то між точкою в розчині, куди він занурений і його виходом виникає постійна напруга $U_{\text{порівн}}$. Ця напруга подається на другий вхід рН-метра (вхід порівняння). Падіння напруги в розчині дорівнює нулю, тому що ніякий струм в розчині не протікає. Таким чином, напруга між входами рН-метра визначається виразом

$$U = U_{\text{вим}} - U_{\text{порівн}} = a + b \cdot \text{pH} - U_{\text{порівн}} = c + b \cdot \text{pH}. \quad (3)$$

Таким чином, між вимірювальною рН-метром величиною напруги і значенням рН розчину виникає лінійний зв'язок.

Константи c і b для даної електродної системи визначають за допомогою стандартних розчинів з відомою величиною рН (прив'язаних до Державного стандарту, де шкала рН визначається з комплексу теоретичних і експериментальних даних) [13].

Оскільки датчик кислотності являє собою мілівольтметр, визначення шуканої концентрації зважених речовин у воді в залежності від діапазону здійснюється за таблицею відповідності (табл. 1), що характеризує залежність показань приладу в мікроамперах від рівня кислотності в досліджуваній воді.

Таблиця 1
Залежність напруги від рівня рН

Напруга (мВ)	Рівень рН	Напруга (мВ)	Рівень рН
414.12	0	-414.12	14
354.96	1	-354.96	13
295.80	2	-295.80	12
236.64	3	-236.64	11
177.48	4	-177.48	10
118.32	5	-118.32	9
59.16	6	-59.16	8
0.00	7	0.00	7

Проілюструємо результат роботи датчиків кислотності та мутності. Дослід сформований на основі чистої, кип'яченої води, в залежності від температури води отримуємо значення кислотності на рис. 3а та значення мутності на рис. 3б.

Даний експеримент підтверджує необхідність виміру показів температури досліджуваної води для отримання максимально точного результату вимірювання рівня кислотності та мутності, також експеримент

проілюстрував переваги розробленого програмного забезпечення, одна з яких це можливість отримання динамічної похибки вимірювання рівня кислотності та мутності в реальному часі. Програмне забезпечення, на основі отриманих даних, дозволяє визначити залежність показів датчиків від зовнішніх природних факторів, на основі чого формується значення похибки.

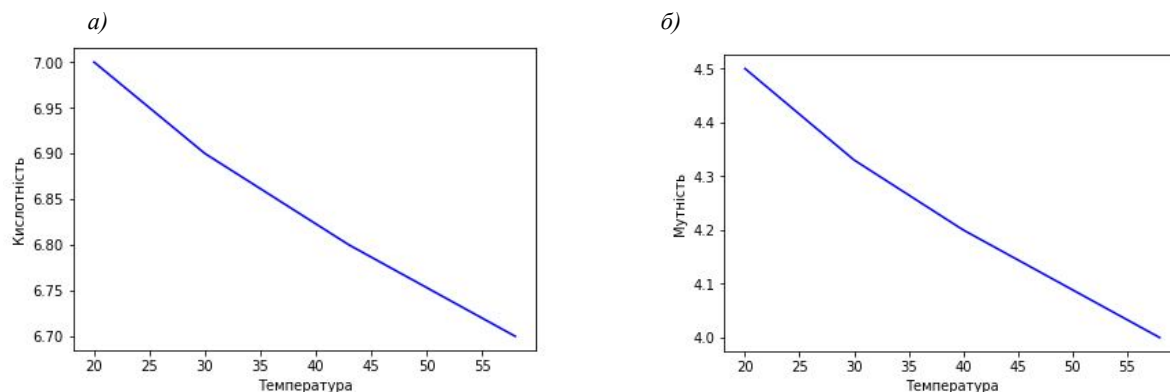


Рис. 3. Залежність а – рівня кислотності від температури; б – рівня мутності від температури

Моделювання рівню забрудненості стічних вод пропонується виконувати на основі методів машинного навчання. Поставлена задача відноситься до задач навчання з учителем [14]. Кожен прецедент являє собою пару «об'єкт – відповідь». Потрібно знайти функціональну залежність відповідей від описів об'єктів і побудувати алгоритм, який бере на вході опис об'єкта і видає на виході відповідь. До цього типу належать, зокрема, задачі класифікації і регресії [15].

Модель даних забрудненості води реалізується методами регресійного аналізу, в яких безліч допустимих відповідей визначено. Відповіддю є дійсне число або числовий вектор. Розглянемо задачу навчання за прецедентами – задачу лінійної регресії

$$a(x) = \sum_{j=1}^{d+1} w_j x^j = \langle w, x \rangle, \quad (4)$$

де w_0 – вільний коефіцієнт, x – ознаки, w_j – вага x^j -ї ознаки, d – кількість ознак у вибірці, позначення $\langle w, x \rangle$ використовується 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. 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 $|a(x) - y|$. Але, оскільки функція модуля недиференційована, доцільно використовувати квадрат відхилення прогнозу $(a(x) - y)^2$. Запишемо функцію як середньоквадратичний критерій відхилення через вектор вагових коефіцієнтів

$$Q(w, x) = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l (\langle w, x_i \rangle - y_i)^2 \rightarrow \min_w. \quad (5)$$

Тепер цільова функція (5) має неперервну похідну на всій множині визначення, і її можливо мінімізувати градієнтними методами.

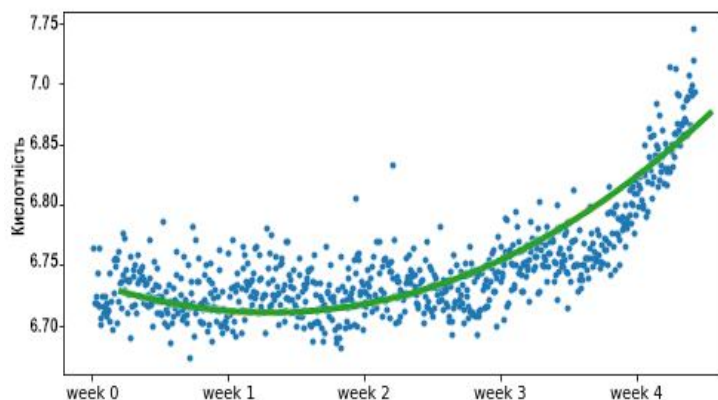


Рис. 4. Модель кислотності стічних вод у завданому проміжку часу

вимірювального комплексу, отримані значення від датчиків кислотності, мутності можна рекомендувати прилад для застосування у місцях накопичення стічних вод (відстійниках), свердловинах, локальних басейнів. Комплекс вдало дозволяє контролювати роботу очисних приладів та вчасно інформувати про появу надзвичайних ситуацій пов'язаних з різкою зміною складу води. В ході подальших досліджень планується вдосконалення наявних комплексів шляхом розширення кількості датчиків контролю якості води з метою більш детального визначення фізико-хімічного складу досліджуваного розчину.

Список літератури

1. Virshennia problemi zabrudnennia vodoim za rachunok intenzifikacii ochisnennia stokiv pidpriemstv [Elektronnyi resurs] – Rezhim dostupu do resursu: http://www.rusnauka.com/8_NMIW_2008/Ecologia/28230.doc.htm.
2. Monitoring za vodospabnenniem i sanitariiei [Elektronnyi resurs] / 1 // Vseмирная организация zdoravoohraneniia. – 2018. – Rezhim dostupu do resursu: https://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/ru/.

3. Проблеми забруднення поверхневих, підземних і стічних вод та заходи щодо їх ліквідації і запобігання в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://ekmair.ukma.edu.ua/bitstream/handle/123456789/1058/Pashkov_Problemy%20zabrudnennia%20poverkhnevykh.pdf.

4. Прогресс в области очистки и использования сточных вод с соблюдением требований безопасности: экспериментальная апробация методологии мониторинга и первоначальные выводы по показателю 6.3.1 ЦУР [Progress on safe treatment and use of wastewater: piloting the monitoring methodology and initial findings for SDG indicator 6.3.1]. Женева: Всемирная организация здравоохранения и ООН-ХАБИТАТ; 2018. Лицензия: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

5. **Швецов В. Н.**, Морозова К. М., Нечаев И. А. Теоретические и технологические аспекты применения биомембранных технологий глубокой очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – №12. – С. 25 – 30.

6. **Сидоров Ю. І.** Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості.: Навч. посіб. для фарм. і хім. спец. ВНЗ / Сидоров Ю. І., Чуешов В. І. та інші. – Вінниця: Нова книга, 2010. – 816 с.

7. Канализация : Учебник для вузов / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, А. И. Жуков, С. К. Колобанов. — Издание 5-е, переработанное и дополненное. — Москва : Стройиздат, 1975. — 632 с., ил.

8. **Паутова М. В.** Контроль качества сточных вод. [Електронний ресурс] / Мария Владимировна Паутова – Режим доступу до ресурсу: https://www.barentsinfo.fi/beac/docs/WGEsub_Water_Conf_Nov-Dec_2010_Arkhangelsk_Session2_Lab_management_ARKH_RUS.pdf.

9. Водородный показатель (рН) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.gicpv.ru/waterchem31.html>.

10. **Елфимов.** Измерение мутности потока современными способами и ее корреляция с концентрацией взвешенных частиц в единице объема на примере водохранилища Дез (Иран) / Елфимов, Хасад Хамид – Москва, Россия: ул. Миклухо-Маклая. – С. 75–82.

11. Як працює рН-метр? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ionomer.ru/content/view/41/29/russian/>.

12. **Кутковский К. А.** Виды сточных вод и основные методы анализа загрязнителей [Електронний ресурс] / К. А. Кутковский // Молодой ученый. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://moluch.ru/archive/56/7745/>.

13. ДСТУ 2225-95 (ГОСТ 30421-96) Вимірювачі електричної ємності, активного опору та тангенса кута втрат високовольтні. Загальні технічні умови

14. **Луис Педро Коэльо,** Вилли Ричарт. Построение систем машинного обучения на языке Python. 2-е издание / пер. с англ. Слинкин А. А. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 302 с.

15. **Шаповалова Н. Н.**, Рибальченко О. Г., Куропятник Д. І.: Порівняльний аналіз методів оптимізації функціоналу якості моделей машинного навчання // Вісник Криворізького національного університету / Збірник наукових праць. Випуск 46. – Кривий Ріг. – 2018. – С. 104 – 112.

Рукопис подано до редакції 17.04.2018

УДК 691.328

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

ВИГОТОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ АРМОВАНИХ МЕТАЛЕВОЮ І СКЛОПЛАСТИКОВОЮ АРМАТУРОЮ З БЕТОНІВ НА ВІДХОДАХ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ

Мета. Виготовити будівельні конструкції з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів армованих металевою і склопластиковою арматурою.

Методи дослідження. Фізичне виготовлення просторових арматурних каркасів з комбінованим композитно-металевим армуванням, приготування бетонної суміші з відходів гірничодобувної промисловості і безпосереднє виготовлення натурних зразків згинальних будівельних конструкцій для подальшого експериментального випробування.

Наукова новизна. Визначення необхідних передумов використання склопластикової арматури, в поєднанні з металевою, в згинальних будівельних конструкціях виготовлених на бетонах з відходів гірничо-збагачувальних комбінатів.

Практична значимість. Наукове дослідження відбувається в межах виконання ініціативної науково-дослідної роботи РК№0118U000118 «Дослідження роботи склопластикової арматури в згинальних елементах виготовлених з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів».

Результати. Дослідні зразки виготовлені і витримані в заводських умовах ТОВ «Спарта» (м. Кривий Ріг). Для експериментального дослідження було виготовлено 7 серій зразків, загальною кількістю 20 штук, з розмірами 120×220×2070 мм.

© Валовой О.І., Попруга Д.В., Люльченко Є.В., Чорна К.В., 2018

В якості формоутворювального елемента використовувалася стандартна металева опалубка для перемичок ЗПБ 21-8. Для армування зразків було використано металеву арматуру Ø6 А240 і Ø12 А400С та склопластикову арматуру АКС 800 діаметром 10, 12 і 14 мм. Склопластикова арматура АКС 800 була надана для дослідження ТОВ «ТОРГП-РОМКОНТРАКТ» (м. Дніпро).

Композитна арматура використовувалася в якості робочої в 6 серіях балок. Поєднання склопластику з металевими поперечними хомутами відбувалося зв'язуванням проволокою.

Металева робоча арматура, окрім першої контрольної серії балок, використовувалася у трьох серіях з комбінованим композитно-металевим армуванням розтягнутої зони. Поєднання металевих стержнів поздовжньої арматури в розтягнутій і стиснутій зонах, з поперечними хомутами, відбувалося шляхом електрозварювання.

Бетонування зразків було виконано бетоном класу С25/30. В якості дрібного заповнювача використано відходи збагачення мокрої магнітної сепарації залістистих кварцитів. Ущільнення бетонної суміші було виконано за допомогою глибинного вібратора.

Ключові слова: склопластикова арматура, відходи, опалубка, комбіноване армування, серії балок, глибинний вібратор.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-130-136

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Кривбас – один з найбільш розвинутих гірничорудних центрів, в котрому накопичується значна кількість відходів збагачувальних фабрик. Ступінь їх використання мінімальна: лише частково використовуються відходи збагачення в якості дрібного заповнювача для бетону, а залістисті кварцити, інші скельні породи та шлаки – на відсіпку доріг. Саме тому, знаходження нових способів застосування відходів гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) є актуальною проблемою для нашого регіону.

Враховуючі вище сказане, при виготовленні експериментальних зразків були використані відходи збагачення магнітної сепарації залістистих кварцитів, які, при підвищеній міцності та тріщиностійкості, мають відносно невелику вартість [10].

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.

Найбільше поширення скло- і базальтопластикова арматура набула у конструкціях, що працюють на пружній основі, наприклад, фундаментах. В згинальних будівельних конструкціях її використання обмежене, оскільки модуль пружності композиту значно менший ніж у металевій арматурі.

Визначення необхідних передумов використання композитної арматури, в поєднанні з металевією, в згинальних елементах виготовлених з бетонів на відходах ГЗК є актуальним завданням, вирішення якого дозволить значно розширити сферу використання ефективних конструктивних матеріалів і зменшити кошторисну вартість будівництва.

Наукове дослідження проводиться в межах науково-дослідної роботи НР/П-81-17 (РК№ 0118U000118) "Дослідження роботи склопластикової арматури в згинальних елементах виготовлених з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів" [1-6].

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженням особливостей роботи бетонних та залізо-бетонних конструкцій, виготовлених на бетонах з відходів ГЗК займалися Г.М. Бондаренко, О.І. Валовой, Г.Т. Стороженко, Б.Н. Шевченко та інші.

Вирішенню проблемних питань застосування композитної арматури в будівельних конструкціях 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. Мурин, В.В. Малиха та ін.

Постановка задачі. Перед авторами стоїть завдання по виготовленню будівельних конструкцій з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів армованих металевією і склопластиковією арматурією.

Викладення матеріалу та результати. Програма наукового дослідження передбачає виготовлення семи серій дослідних балок (табл. 1).

Програма наукового дослідження

Серія балок	Найменування серії	Поперечний переріз, мм	Кількість зразків, шт.	Примітки
БМ-1	Балки з металевою арматурою 3Ø12 А400С у розтягнутій зоні (контрольна серія)		2	Бетон С25/30
БС-2	Балки зі склопластиковою арматурою 3Ø10 АКС 800 у розтягнутій зоні		3	АКС - арматура композитна склопластиковою
БМС-3	Балки з металевою Ø12 А400С і склопластиковою арматурою 2Ø10 АКС 800 у розтягнутій зоні (комбіноване армування)		3	Металеві стержні каркасу піддаються електрозварюванню, а склопластикові - в'язанню
БС-4	Балки зі склопластиковою арматурою 3Ø12 АКС 800 у розтягнутій зоні		3	
БМС-5	Балки з металевою Ø12 А400С і склопластиковою арматурою 2Ø12 АКС 800 у розтягнутій зоні (комбіноване армування)		3	
БС-6	Балки зі склопластиковою арматурою 3Ø14 АКС 800 у розтягнутій зоні		3	
БМС-7	Балки з металевою Ø12 А400С і склопластиковою арматурою 2Ø14 АКС 800 у розтягнутій зоні (комбіноване армування)		3	

Дослідні зразки у кількості 20 шт. виготовлені й витримані в заводських умовах ТОВ «Спарта» (м. Кривий Ріг). Розміри балок складають 120×220×2070 мм (рис. 1).

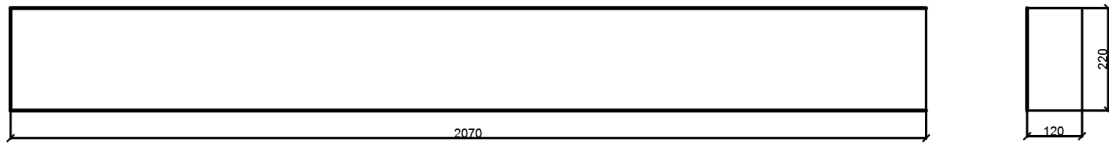


Рис. 1. Опалубочне креслення балок

В якості формуювального елемента використовувалася стандартна металева опалубка для перемичок ЗПБ 21-8 [7].

В якості поперечної, у вигляді гнутих хомути (табл. 1, рис. 2, 3), а також поздовжньої арматури стиснутої зони всіх балок, було використано металеву арматуру Ø6 А240.

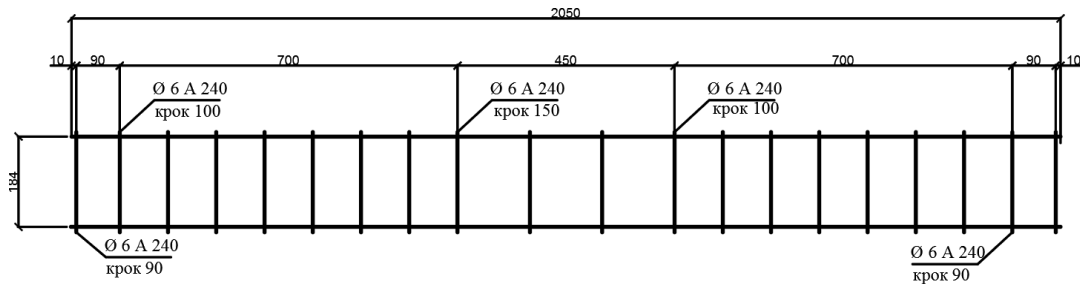


Рис. 2. Схема поперечного армування зразків

Робочою арматурою контрольної серії БМ-1 є металева арматура 3Ø12 А400С. В серіях з комбінованим композитно-металевим армуванням розтягнутої зони (серії БМС-3, БМС-5 і БМС-7), також було використано по одному стержню арматури Ø12 А400С (табл. 1, рис. 3).

З'єднання металевих стержнів поздовжньої арматури в розтягнутій і стиснутій зонах, з поперечними хомутами, відбувалося шляхом електрозварювання.

Композитну склопластикову арматура АКС 800 діаметром 10, 12 і 14 мм було використано в якості робочої в шести дослідних серіях балок (БС-2, БМС-3, БС-4, БМС-5, БС-6 і БМС-7) (табл. 1, рис. 3). З'єднання склопластику з металевими поперечними хомутами відбувалося в'язальною проволокою.

Склопластикову арматура АКС 800 була надана для дослідження ТОВ «ТОРГПРОМКОН-ТРАКТ» (м. Дніпро) [8, 9].

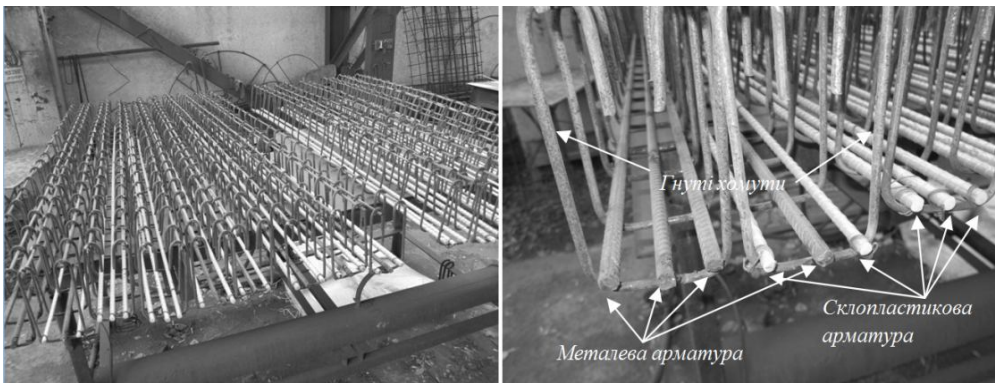


Рис. 3. Просторові арматурні каркаси балок з металевою і склопластиковою робочою арматурою

Проектне положення арматурних каркасів забезпечували за допомогою бетонних вкладишів. Перед укладанням бетонної суміші внутрішню поверхню опалубки покривали тонким шаром гідрофобного змащення (емульсія з відпрацьованого машинного мастила) для полегшення розпалублення зразків.

Бетонування зразків було виконано дрібнозернистим важким бетоном класу С25/30 на цементі марки 400 ПрАТ «ХайдельбергЦемент Україна». В якості дрібного заповнювача викорис-

тано відходи збагачення мокрої магнітної сепарації залізистих кварцитів [10]. Крупний заповнювач – гранітний щебінь фракції 5-10 мм з кар'єру «Софія-Граніт», Миколаївська область, Новобузький район, село Софіївка.

Ущільнення бетонної суміші відбувалося за допомогою глибинного вібратора (рис. 4 б).

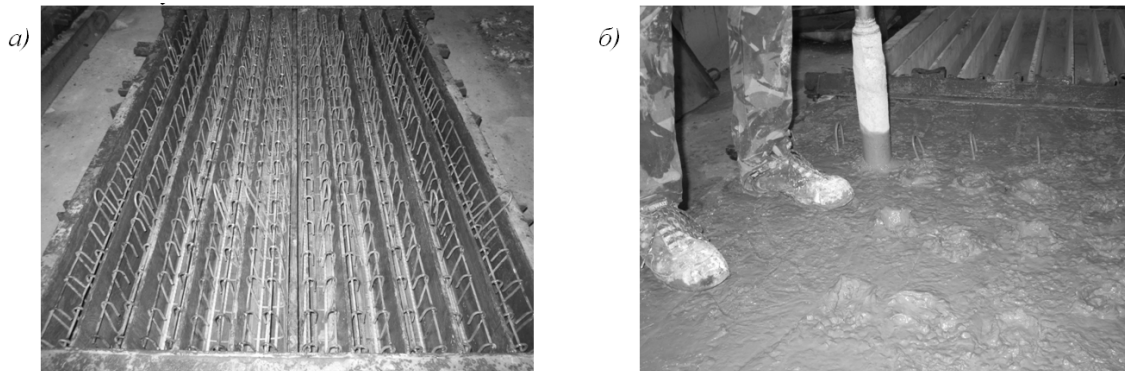


Рис. 4. Армування і бетонування зразків: *a* - просторові арматурні каркаси в металевій опалубці перемичок ЗПБ 21-8; *б* – ущільнення бетонної суміші глибинним вібратором

Тривалість вібрування становила не більше 100 с, для попередження розшарування бетонної суміші.



Рис. 5. Витримка зразків балок і кубів в пропарочній камері

Бетонування дослідних зразків відбувалося в зимовий час. Для створення оптимального температурно-вологого режиму умов твердіння, балки і зразки кубів знаходилися в пропарочній камері (рис. 5).

Транспортування виготовлених дослідних зразків в лабораторію випробування будівельних конструкцій будівельного факультету Криворізького національного університету відбулося на 104 добу з моменту виготовлення (рис. 6).

Висновки та напрямок подальших досліджень. Після виконання підготовчих робіт з оздоблення зразків елементами кріплення вимірювальних приладів, планується виконати випробування за схемою однопрольотної вільнолежачої балки завантаженої двома зосередженими силами у третинах прольоту (рис. 7) [11].



Рис. 6. Виготовлені зразки дослідних балок в лабораторії випробування будівельних конструкцій Криворізького національного університету

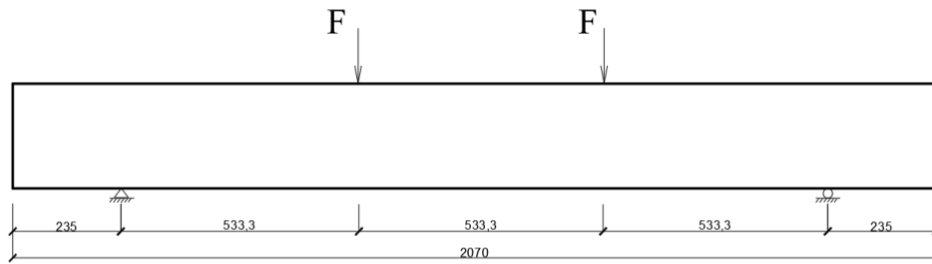


Рис. 7. Схема завантаження дослідних балок

Величина навантаження, що прикладатиметься до балки, буде контролюватися взірцевим манометром гідравлічної станції.

У процесі експериментальних випробувань балок фіксуватимуть деформації граней балки в зоні чистого згину, визначатимуть прогини балок, момент появи тріщин, а також слідкуватимуть за розвитком тріщин по висоті та ширині їх розкриття.

При випробуванні балок будуть використані такі прилади: прогиномір Максимова з ціною поділки 0,1 мм; індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм для визначення деформацій бетону балок; мікроскоп МПБ–2 з 24-кратним збільшенням і ціною поділки 0,05 мм для визначення ширини розкриття нормальних і похилих тріщин.

Навантаження дослідних зразків балок повинно здійснюватися ступенями по 0,1 від руйнівного, що визначено згідно розрахунку. Після кожного етапу прикладання навантаження, його необхідно витримати на заданому рівні протягом 10 хв., впродовж цього часу фіксуються показники вимірних приладів.

Список літератури

1. **Валовой О.І.** Визначення прогинів згинальних елементів армованих склопластиковою і металевою арматурою / О. І. Валовой, Д.В. Попруга, Є.В. Люльченко, К.В. Чорна // Гірничий Вісник. Збірник наукових праць. - Кривий Ріг: КНУ, 2018. - Випуск 103. - С. 7-11.
2. **Валовой О.І.** Математичне моделювання згинальних елементів армованих склопластиковою і металевою арматурою з визначенням деформацій прогинів / **О.І. Валовой, Д.В. Попруга, Є.В. Люльченко, К.В. Чорна** // International Multidisciplinary Conference "Science and technology of the present time: priority development directions of Ukraine and Poland". - Wolomin: Z. Gloger Wolomin International and Regional Cooperation University, 2018. - С. 91-94.
3. **Валовой О.І.** Особливості анкерування композитної арматури в бетоні / **О.І. Валовой, Д.В. Попруга, К.В. Чорна** // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції "Розвиток промисловості та суспільства". - Кривий Ріг: КНУ, 2018. - Том 1. - С. 213.
4. **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.
5. **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.
6. **Valovoi O.** Application of the non-metallic composite armature / **O. Valovoi, D. Popruga, K. Chorna** // International scientific – practical conference of young scientists «Build-Master-Class-2017». - Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture, 2017. – P. 196.
7. **Попруга Д. В.** Технологія виготовлення та підсилення залізобетонних згинальних елементів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів / **Д.В. Попруга, О.І. Валовой** // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. - Рівне: НУВГП, 2011. - Випуск 22. - С. 833-840.
8. Протокол № 221-323/153/14 випробування зразків композитної арматури. - Київ: ДП НДІБК, 2015. - 7 с.
9. 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).
10. **Шевченко Б.Н.** Конструкции из бетонов на отходах железных руд / **Б.Н. Шевченко**. - Киев: Выща школа, 1989. - 192с.
11. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные, сборные. Методы испытания нагружением и оценки прочности, жесткости и трещиностойкости: ГОСТ 8829-94 (ДСТУ БВ.2.6-7-95). – [Действует от 1986-01-01].

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

Н. Н. ШАПОВАЛОВА, ст. викладач, Р. В. ПЕЧЕНІН, студент
Криворізький національний університет
Н. А. ПЕЧЕНІНА, канд. іст. наук, доц.
Криворізький державний педагогічний університет

РОЗРОБКА НАВЧАЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ПОБУДОВИ, НАВЧАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Мета. Розробити платформу побудови, навчання та дослідження моделей штучного інтелекту, яка надає розробнику або аналітику даних можливість швидко створювати, навчати і розгортати моделі машинного навчання. Розроблювальне середовище має повністю охоплювати процес машинного навчання, починаючи з етапу підготовки і аналізу даних, вибір алгоритму, навчання алгоритму, адаптацію та оптимізацію для розгортання моделі, складання прогнозів, закінчуючи збереженням і використанням готової моделі. Розроблювальна платформа має задовольняти вимогам використовувати переваги технології штучного інтелекту як користувачам з глибокими знаннями у досліджуваній області, так і користувачам з незначним досвідом у сфері проектування моделей машинного навчання; використовуватися в процесі навчання дисциплін, присвячених вивченню методів штучного інтелекту, у закладах вищої освіти.

Методи. Для вирішення поставлених завдань використовувалися наступні методи: загальнонаукові методи теоретичного дослідження: аналіз, синтез, формалізація, моделювання, узагальнення; методи емпіричного дослідження: вивчення досвіду в області поставленого завдання, тестування отриманої моделі; методи об'єктно-орієнтованого проектування та програмування. В роботі розглянуті спеціальні методи машинного навчання, такі як лінійна регресія, методи боротьби з перенавчанням моделей – регуляризація і кореляційний аналіз.

Наукова новизна. Розроблено ІКТ засіб для побудови, навчання та дослідження моделей штучного інтелекту, методичні рекомендації щодо його використання в процесі викладання дисциплін присвячених вивченню штучного інтелекту у фаховій підготовці студентів закладів вищої освіти.

Практична значимість виконаної роботи полягає в можливості використання навчального середовища AI Platform в процесі навчання дисциплін, присвячених вивченню методів штучного інтелекту і машинного навчання на етапі практичного застосування основних методів цієї галузі.

Результати. Розроблено середовище AI Platform, яке дає можливість будувати, навчати та досліджувати методи і моделі штучного інтелекту, розроблено рекомендації щодо використання середовища у фаховій підготовці студентів закладів вищої освіти.

Ключові слова: навчальна платформа, штучний інтелект, модель машинного навчання, регуляризація, перенавчання, функціонал якості.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-136-142

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. На сьогоднішній день технології штучного інтелекту (ШІ) все більше проникають у повсякденне життя людини. Згідно звіту дослідницької компанії Gartner, яка регулярно оновлює свій «цикл зрілості технологій», з усіх інформаційних технологій на піку очікувань знаходиться під-область штучного інтелекту – машинне навчання (МН) [1].

З кожним днем сфера застосування МН розширюється, потребуючи все більше і більше кваліфіковані кадри. На сьогодні МН – одна з найбільш популярних і затребуваних галузей Computer Science, і в той же час одна з найбільш високим порогом входження серед розробників. Основна причина цього полягає в тому, що теоретична база цієї галузі вимагає глибокої підготовки з основ алгебри, теорії ймовірності, математичної статистики, знання чисельних методів оптимізації тощо. Але необхідно розуміти, що успіх тієї чи іншої технології полягає, в тому числі, в доступності її використання.

На сьогоднішній день існує декілька інструментів для дослідження та реалізації технологій (ШІ). Microsoft Azure – хмарна платформа, призначена для розробників застосунків хмарних обчислень і покликана спростити процес створення онлайн-додатків. Microsoft Azure вміщує в собі Azure Machine Learning – рішення, що дозволяє будувати та використовувати складні моделі машинного навчання в простій та наглядній формі. Серед Azure ML спрощує створення моделей МН завдяки інструментам візуального програмування.

TensorFlow – це бібліотека з відкритим вихідним кодом для машинного навчання, розроблена компанією Google для вирішення задач побудови та тренування нейронних сітей з ціллю

високоточної класифікації образів. Застосовується для досліджень та розробки програмних продуктів Google. Основний програмний інтерфейс реалізовано для Python, також є реалізація для C++, Haskell, Java, Go та Swift [2].

Проблема описаних вище технологій МН полягає в тому, що не існує середовища, яке можна було використовувати в навчальних цілях у закладах вищої освіти, та яке б не потребувало глибокого знання математичного апарату МН, але давало би можливість будувати та навчати основні типи моделей МН та давати їх інтерпретацію в процесі вивчення дисциплін, присвячених штучному інтелекту.

Аналіз досліджень і публікацій. Під інформаційними технологіями розуміють сукупність методів і технічних засобів збору, організації, збереження, обробки, передавання й подання інформації, що розширює знання людей і розвиває їхні можливості з управління технічними й соціальними процесами [3, 8]. Інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) включають комп'ютери, програмне забезпечення та засоби електронного зв'язку. У результаті все більшого застосування ІКТ в освіті з'явився ряд нових підходів до навчання. І. Довгопол вважає, що «комп'ютерні технології навчання – це процеси підготовки та передавання інформації учню, засобом здійснення яких є комп'ютер» [4]. Електронне навчання охоплює навчання на всіх рівнях, як формальних, так і неформальних, з використанням інформаційних мереж для надання курсів, взаємодії та сприяння. Змішане навчання відноситься до моделей навчання, які поєднують традиційну практику в аудиторії з практичною частиною в електронному варіанті. Змішування різних методів було розроблено після того, як педагоги визнали, що не все навчання найкраще досягається в середовищі з електронним середовищем, зокрема, яке повністю позбавляє живого інструктора [5, 9].

В окремих зарубіжних дослідженнях у сфері ІКТ та освіти виділяють три основні парадигми, основна різниця між якими лежить у ставленні до впливу ІКТ на освіту. Технократична парадигма характеризує тих, хто уникає будь-якої дискусії про зміну школи. Реформістська парадигма об'єднує дослідників, які розглядають ІКТ як інструмент, який може допомогти у просуванні «правильної» дидактики. Холістична парадигма включає в себе тих, хто, на відміну від дослідників, що належать до двох попередніх парадигм, зазвичай представляють явну сукупність тверджень щодо соціокультурної ситуації та впливу ІКТ на нього (культурний підхід) [6].

Для більшості навчальних дисциплін вищої школи залишається не до кінця розв'язаним питання впровадження ІКТ у процес навчання та пошук ефективних форм поєднання традиційної та комп'ютерно орієнтовної методики навчання [7]. В той час, як використання ІКТ у навчальному процесі надає можливість вивчати на якісно новому рівні всі дисципліни [3].

Постановка завдання полягає в розробці платформи, яка надаватиме можливість будувати, навчати та досліджувати моделі штучного інтелекту користувачам, які не володіють в достатній мірі навичками програмування для самостійної реалізації методів машинного навчання, але потребують задля виконання прикладних завдань в використанні сучасних методів і технологій. Функціонал платформи має включати в себе інструменти попереднього аналізу даних (визначення типу розподілу ознак, кореляції ознак), вибір моделі (регресійні моделі, ансамблеві методи), навчання моделей, інструменти боротьби з перенавчанням (крос-валідація, регуляризація), а також можливість збереження параметрів навченої моделі для подальшого використання. Розроблювальна платформа повинна мати інтуїтивно зрозумілий інтерфейс доступу до основних функцій програми, лаконічний дизайн – мінімізовано кількість дій користувача, необхідна для використання програми, оптимізовано розташування інформаційних блоків та елементів керування програмою.

Викладення матеріалу та результати. Дослідження моделей штучного інтелекту поділяється на кілька етапів. Для того, щоб створити платформу, необхідно чітко розуміти, як саме проходить побудова та навчання моделей. Загальна схема використання методів штучного інтелекту складається з наступних кроків (рис. 1).

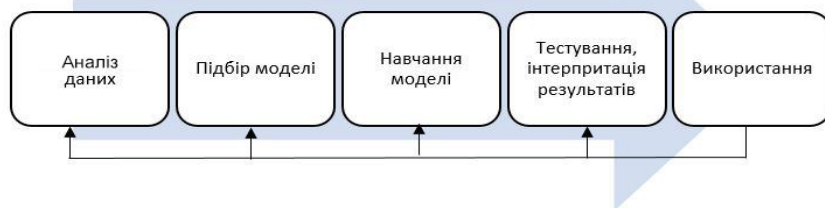


Рис. 1. Послідовність етапів використання методів штучного інтелекту

Всі зазначені етапи побудови, навчання та дослідження моделей штучного інтелекту реалізовані у розробленому середовищі AI Platform, яке у повній мірі дає можливість використовувати сучасні засоби технології машинного навчання без необхідності їх програмування.

Аналіз даних. Задача, яку необхідно вирішити перед тим, як розпочинати формувати модель навчання – це виконати аналіз даних. Ніякої самий витончений метод сам по собі не дасть хороший результат, тому що критично важливим стає питання якості вихідних даних. Найчастіше саме неякісні дані є причиною невдачі [10].

Розроблене середовище AI Platform дозволяє подивитися на перші записи вибірки після зчитування дата-сету (рис. 2). Так можна ознайомитися з даними, вивчити типи ознак і їх природу. Це також дозволяє виявити деякі помилки читання даних.

	SEASON	YR	MNTH	HOLIDAY	WEEKDAY	WORKINGDAY	WEATHERSIT	TEMP
1	1.0	0.0	1.0	0.0	6.0	0.0	2.0	14.110847
2	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2.0	14.902598
3	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	8.050924
4	1.0	0.0	1.0	0.0	2.0	1.0	1.0	8.2
5	1.0	0.0	1.0	0.0	3.0	1.0	1.0	9.305237
6	1.0	0.0	1.0	0.0	4.0	1.0	1.0	8.378268
7	1.0	0.0	1.0	0.0	5.0	1.0	2.0	8.057402
8	1.0	0.0	1.0	0.0	6.0	0.0	2.0	6.765

Старт

Рис. 2. Скріншот виведення вибірки в AI Platform

Після цього варто візуалізувати отримані дані – збудувати гістограми розподілу ознак. Завдяки таким гістограмам можна краще зрозуміти, з якими даними ми працюємо та визначити аномалії або викиди (рис. 3).

На етапі первинного аналізу даних необхідно знати ступень кореляції ознак як між собою, так і з цільовою змінною, оскільки ознаки, які мають явно виражені лінійні залежності між собою, породжують проблему мультиколінійності, яка в свою чергу є причиною перенавчання моделей. Для відображення попарних залежностей ознак будується матриця графіків, де на діагоналі відображуються гістограми розподілу ознак, а поза діагоналлю – графіки залежностей кожних двох ознак (рис. 4).

Підбір моделі. Після аналізу даних AI Platform дозволяє обрати модель, яка буде використана для прогнозу значення цільової ознаки. Якщо необхідно прогнозувати значення дійсної ознаки (задача відновлення регресії), то в цьому випадку в якості моделі буде виступати поліном деякого ступеня. Щоб обрати модель, яка найбільш вдало описує дані, необхідно обрати модель з мінімальним середньоквадратичним відхиленням [11]

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2}{n}, \quad (1)$$

де MSE – середньоквадратична помилка, y_i – істинні значення цільової змінної на i -ому об'єкті, y'_i – прогнозоване значення цільової змінної на i -ому об'єкті, n – кількість об'єктів.

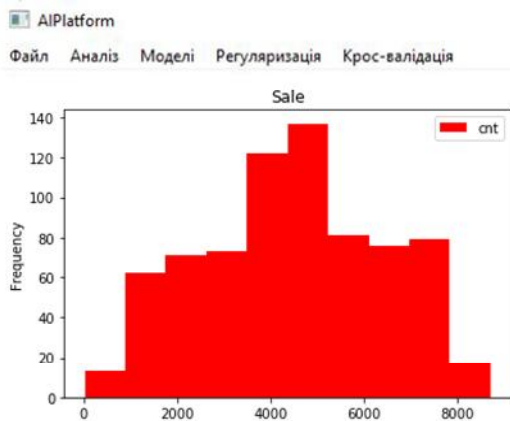


Рис. 3. Скріншот гістограми розподілу ознаки в AI Platform

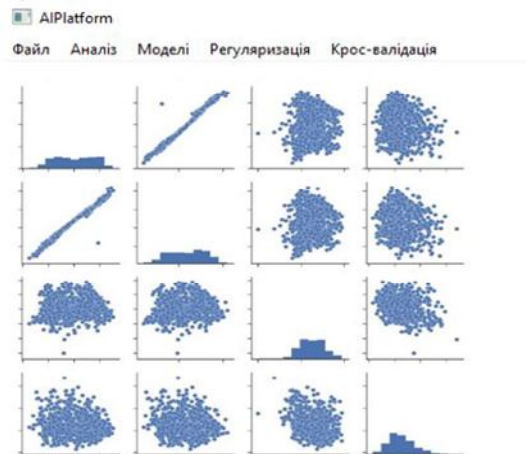


Рис. 4. Скріншот виведення попарних залежностей ознак в AI Platform

Одним із методів машинного навчання є лінійна регресія. Цей метод дозволяє прогнозувати значення кількісної цільової змінної у вигляді комбінації ознак з параметрами – вагами моделі. Оптимальні параметри лінійної регресії можна знайти аналітично, розв’язавши нормальне рівняння або за допомогою чисельних методів оптимізації.

Навчання моделі. За своєю суттю навчання будь-якої моделі зводиться до налаштування ваг (коефіцієнтів, параметрів) цієї моделі. При знаходженні вектору оптимальних ваг w аналітичним шляхом вектор y , який відповідає цільовій змінній, знаходиться множенням матриці об’єктів X на вектор ваг w (2)

$$y = Xw. \quad (2)$$

Помноживши на X^T отримаємо

$$X^T y = X^T X w. \quad (3)$$

Вектор ваг w знаходиться як

$$w = (X^T X)^{-1} X^T y. \quad (4)$$

При використанні аналітичного методу розв’язання існують складності: для знаходження рішення необхідно обчислювати зворотну матрицю. Операція звернення матриці вимагає, у разі d ознак, виконання порядку d^3 операцій, і є обчислювально складною вже в задачах з десятком ознак; чисельний спосіб знаходження оберненої матриці не може бути застосований в деяких випадках (коли матриця погано обумовлена).

Існує більш зручний, спосіб знайти рішення – використовувати чисельні методи оптимізації, зокрема метод градієнтного спуску. Використання градієнтних методів зумовлено їх високою швидкістю збіжності і стабільністю, одержаних завдяки інформації про градієнт і кривизну досліджуваної функції. Алгоритм найшвидшого спуску реалізує ітераційну процедуру руху до мінімуму з довільно вибраної початкової точки в напрямку найсильнішого зменшення функції, визначеному біля поточного значення аргументу функції, що мінімізується. Такий напрям протилежний напрямку, який задається вектором градієнта $\nabla f(x)$ функції, що мінімізується $f(x)$. Загальна формула для знаходження значення аргументу $x^{(k+1)}$ за значенням $x^{(k)}$, знайденому на k -му кроці роботи алгоритму найшвидшого спуску $x^{(k+1)} = x^{(k)} + \lambda^{(k)} \cdot s^{(k)}$, де $\lambda^{(k)}$ – крок градієнтної процедури, $s^{(k)}$ – вектор одиничної довжини в напрямку, протилежному напрямку градієнта $\nabla f(x^{(k)})$, визначеному в точці $x^{(k)}$

$$s^{(k)} = \frac{-\nabla f(x^{(k)})}{\|\nabla f(x^{(k)})\|}, \quad (5)$$

де $\|\nabla f(x^{(k)})\|$ – норма вектора градієнта $\nabla f(x^{(k)})$.

Проблема градієнтного спуску полягає в тому, що при великій кількості даних метод сходиться дуже повільно, оскільки кожна ітерація складається з великої кількості операцій в про-

цедурі визначення градієнту по об'єктах зі всієї вибірки, тобто для обчислення градієнту на одній ітерації використовується весь набір (пакет) даних. Середовище AI Platform дозволяє використовувати метод стохастичного градієнтного спуску. Ідея метода полягає у тому, що значення градієнта на кожній ітерації визначається зважаючи тільки на один випадковий об'єкт з вибірки [12]. Для великих наборів даних стохастичний градієнтний спуск може дати значну перевагу в швидкості в порівнянні з пакетним градієнтним спуском.

Тестування, інтерпретація результатів. Після навчання моделі необхідно оцінити її адекватність на даних, які не приймали участь у навчанні, оскільки, не дивлячись на прийнятні значення функціоналу якості, можна зіткнутися з проблемою перенавчання. Перенавчання – небажане явище, коли ймовірність помилки навченого алгоритму на об'єктах тестової вибірки виявляється істотно вище, ніж середня помилка на навчальній вибірці. Перенавчання виникає при використанні надмірно складних моделей. Іншою причиною перенавчання може стати мультиколінеарність ознак – проблема, при якій ознаки у вибірці є лінійно залежними. Існує декілька методів виявлення та боротьби з перенавчанням. Найпростіший спосіб виявлення перенавчання – використання відкладеної вибірки. Необхідно розбити вибірку на дві частини: перша частина (відкладена вибірка) буде використана для навчання алгоритму, друга (тестова) – для оцінки його якості. Розбиття повинно проводити в певній пропорції: якщо взяти малу тестову вибірку, тоді оцінка якості буде ненадійною, якщо ж тестова вибірка буде занадто великою, оцінка якості буде надійною, але алгоритм може виявитись недостатньо навченим. Зазвичай вибірку розбивають у співвідношенні 70/30 або 80/20.

Недоліком такого методу є той факт, що при навчанні алгоритму використовуються не всі дані, тобто немає гарантії, що деякий унікальний об'єкт буде врахований при будівництві моделі. Цю проблему вирішує крос-валідація. Крос-валідація – це техніка валідації моделі для перевірки того, наскільки успішно модель здатна працювати на незалежному (тестовому) наборі даних.

За цим методом вибірка ділиться на деяку кількість (k) блоків однакового розміру. Далі кожен із цих блоків виконує роль тестової вибірки, а решта – роль навчальної вибірки. Після того, як кожен блок буде використаний як тестовий, отримаємо k показників якості. В результаті усереднення буде отримана оцінка якості.

Від вибору числа k залежить якість навчання моделі. Зазвичай вибирають $k=3, 5, 10$. Слід пам'ятати, що чим більше k , тим більше разів потрібно навчати алгоритм, тобто тим більше машинного ресурсу і часу буде витрачено. Тому на великих вибірках рекомендується обирати невеликі значення k [13].

Ще один метод боротьби з перенавчанням, причиною якого є мультиколінеарність ознак, – регуляризація. При регуляризації мінімізується новий функціонал помилки, який отримується шляхом додавання регуляризатора. Використання такого методу дозволяє отримати помірні значення вагових коефіцієнтів. Найпростіший регуляризатор – квадратичний, який ще має назву $L2$ - або Ridge-регуляризатор (6)

$$\|w\|^2 = \sum_{j=1}^d w_j^2. \quad (6)$$

В цьому випадку вирішується задача оптимізації (7)

$$Q(w, X) + \lambda \|w\|^2 \rightarrow \min_w, \quad (7)$$

де λ – коефіцієнт регуляризації. Чим більше λ , тим нижче складність моделі (рис. 5). При занадто високих значеннях можна отримати нульові ваги, в цей же час при занадто низьких значеннях виникає ризик перенавчання [14, 15]. Тому успішність використання даного методу залежить від вміння знайти оптимальне значення λ , при якому будуть знайдені закономірності даних та не буде допущено перенавчання. $L2$ -регуляризатор є гладким, що дає змогу використовувати градієнтний спуск для оптимізації функціоналу якості моделі.

Також існує $L1$ - або lasso-регуляризатор (8)

$$\|w\|_1 = \sum_{j=1}^d |w_j|, \quad (8)$$

який не є гладким, але також може використовуватися для відбору ознак.

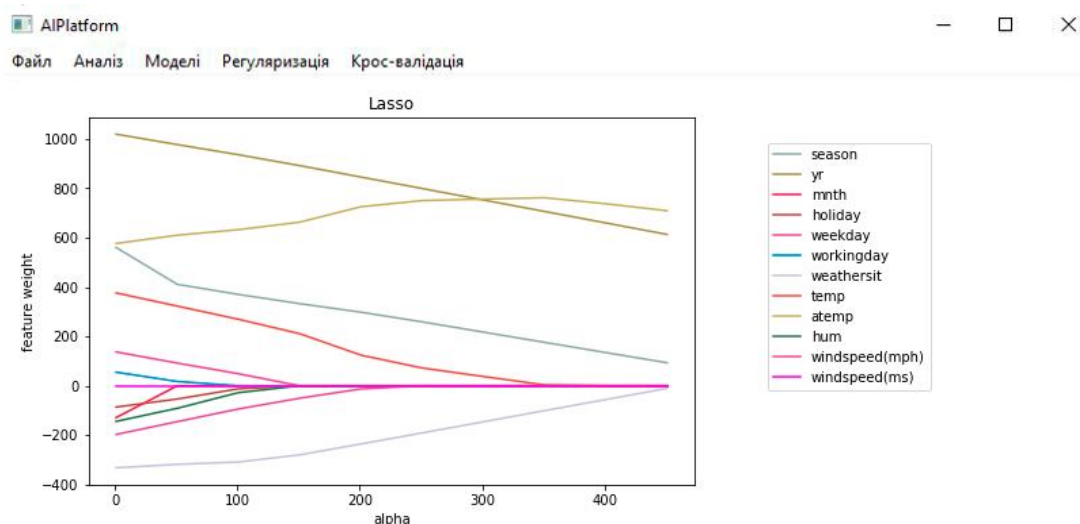


Рис. 5. Графік впливу коефіцієнта регуляризації на складність моделі в AI Platform

Використання. Після того, як модель навчена, і на тестових даних її якість не гірша за якість на навчальних даних, модель можна зберегти і використовувати в подальших прикладних задачах. AI Platform дозволяє зберігати вагові коефіцієнти моделі і показник якості її роботи у файл, і виконувати прогнозування за збереженими показниками.

На кожному етапі роботи користувач має змогу бачити програмний код, що реалізує певний інструмент побудови, навчання і дослідження моделей. Програмна реалізація виконана мовою Python 3.6.

Висновки та напрямок подальших досліджень. В роботі було викладено основні можливості розроблювальної навчальної системи AI Platform, яка призначена для побудови, навчання та дослідження моделей штучного інтелекту без прямої необхідності для користувача програмувати методи машинного навчання. В середовищі представлені основні методи попереднього аналізу даних, вибір моделей і алгоритмів навчання, апарат оцінки якості побудованих залежностей і спеціальні методи їх покращення у випадку необхідності. Платформа має інтуїтивно зрозумілий інтерфейсі мінімалістичний дизайн.

В ході подальшої роботи планується розширити перелік моделей, доповнивши його апаратом штучних нейронних мереж, розробити окремий інтерактивний довідково-інформаційний модуль щодо тематики використання моделей штучного інтелекту.

Список літератури

1. Gartner's 2016 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies Three Key Trends That Organizations Must Track to Gain Competitive Advantage [Електронний ресурс] // Cycle for Emerging Technologies. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.gartner.com/newsroom/id/3412017>.
2. Priyadharshini. Machine Learning: What it is and Why it Matters [Електронний ресурс] / Priyadharshini – Режим доступу до ресурсу: <https://www.simplilearn.com/what-is-machine-learning-and-why-it-matters-article>.
3. Фоміних Н. Ю. Сутність поняття «інформаційно-комунікаційні технології» та їх значущість на сучасному етапі інформатизації освіти [Текст] / Н. Ю. Фоміних // Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах : зб. наук. пр. / наук. ред. Сущенко Т. І. та ін. – Запоріжжя, 2009. – Вип. 5 (58). – С. 396–400.
4. Довгопол І. І. Современные образовательные и педагогические технологии / И.И. Довгопол, Т.А. Ивкова. – Симферополь, 2006. – 336 с.
5. Захарова И. Г. Информационные технологии в образовании : учеб. пособ. для студ. высш. пед. учеб. завед. / И.Г. Захарова. – М. : Академия, 2003. – 192 с.
6. Доценко І. О. Актуальні проблеми впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у вищій освіті / І. О. Доценко // Гірничий вісник : науково-технічний збірник / М-во освіти і науки України, ДВНЗ "КНУ". – Кривий Ріг, 2017. – Вип. 102. – С. 117-120. – Режим доступу: <http://iomining.in.ua/ua/homeua/journal/102ua/#102>
7. Aviram A. The Impact of Information and Communication Technology on Education: the missing discourse between three different paradigms / A. Aviram, T. Deborah. // E-Learning. – 2005. – №2.

8. **Ляпинський В. В.** Международные тенденции развития информатизации и повышения качества образования Мина, А.С. и Скрипка, К.И. (2010) Международные тенденции развития информатизации и повышения качества образования Информційні технології та засоби навчання, 5 (19).

9. **Гудирева О. М.** Використання сучасних інформаційних технологій в освітній програмі “Intel® Навчання д

10. **Cassie Kozyrkov.** 9 Things You Should Know About TensorFlow [Електронний ресурс] / Cassie Kozyrkov – Режим доступу до ресурсу: <https://hackernoon.com/9-things-you-should-know-about-tensorflow-9cf0a05e4995>.

11. Брінк Х. Машинное обучение / Х. Брінк, Д. Річардс, М. Феверолф. – СПб, 2017. – 336 с.

12. **Воронцов К. В.** Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин) [Електронний ресурс] / К. В. Воронцов – Режим доступу до ресурсу: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/Voron-ML-1.pdf>.

13. **Ruder S.** An overview of gradient descent optimization algorithms [Електронний ресурс] / Sebastian Ruder – Режим доступу до ресурсу: <http://ruder.io/optimizing-gradient-descent/index.html>.

14. **Michie D.** Machine Learning, Neural and Statistical Classification / D. Michie, D. J. Spiegelhalter, C. C. Феверолф., 1994. – 298 с.

15. **Флах П.** Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных / Петер Флах. – Москва: ДМК Пресс, 2015. – 400 с.

Рукопис подано до редакції 17.04.2018

УДК 528.44

А.Ю. ПАЛАМАР, канд. техн. наук, доц., А.В. СИРБУ, магістрант
Криворізький національний університет

ТЕОРЕТИЧНО-МЕТОДИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБІТ ІЗ ЗЕМЛЕУСТРОЮ ЩОДО ЗМІНИ МЕЖ АДМІНІСТРАТИВНО-ТЕРИТОРІАЛЬНИХ УТВОРЕНЬ

Мета. В статті проведений аналіз щодо зміни меж адміністративно-територіальних утворень. Проаналізовано чинне законодавство України у сфері містобудівної діяльності та методику і порядок виконання зміни меж адміністративно-територіальних утворень. Встановлено, що адміністративно-територіальний устрій України являє собою таку організацію її території, яка передбачає поділ останньої на адміністративно-територіальні утворення (одиниці), що є частинами єдиної території нашої держави, просторовою основою організації й діяльності місцевих органів державної влади та самоврядування. Основною метою статті є дослідження проекту землеустрою щодо встановлення (зміни) меж адміністративно-територіальних утворень (населених пунктів) та створення методики виконання робіт.

Методи дослідження. Під час проведення досліджень використано методи математичної статистики, технології проведення кадастрових робіт.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в дослідженні точності геоприв'язки зображення (карти) у координати в залежності від якості сканованого зображення.

Практична значимість. Межі адміністративно-територіальних утворень не є постійними. З розвитком населених пунктів та збільшенням кількості їх жителів вони можуть збільшуватися завдяки включенню до них нових земельних ділянок. Прийняття рішень про утворення і ліквідацію районів, встановлення і зміну меж районів і міст, віднесення населених пунктів до категорії міст належить до повноважень Верховної Ради України. Вона приймає такі рішення за поданням Верховної Ради обласних Київської та мських рад. Рішення про встановлення та зміну меж сіл і селищ приймаються обласними, у містах рад, що підкреслює практичну значимість роботи.

Результати. Розглянуто загальні Київською та мськими радами за поданням районних та відповідних сільських, селищних рад. Встановлення та зміна меж районів у містах провадяться на підставі рішень мської ради, які приймаються за поданням відповідних районних закони та нормативно-правові акти, які використовуються для зміни меж адміністративно-територіальних утворень.

Ключові слова: теоретико-методичне обґрунтування, землеустрій, межі адміністративно-територіальних утворень, населений пункт, земельний кодекс України.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-142-148

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. У зв'язку із соціально-економічним розвитком країни та її регіонів, кордони міст за роки незалежності України суттєво розширились, а окраїни міст перетворились у розвинуті інфраструктурні комплекси. Кордони міст, особливо обласного, районного значення, вже давно не відповідають тим, які були раніше встановлені на законодавчому рівні, що спричиняє безліч проблем. Адміністративно-територіальний устрій України не є незмінним. Окремі населені пункти (села, селища), які роз-

ташовані близько від міст, намагаються увійти під юрисдикцію їхніх територіальних громад, а органи самоврядування великих міст порушують питання про перетворення їх на міста зі спеціальним статусом. На сучасному етапі розвитку українського державотворення питання встановлення і зміни меж населених пунктів приділяється недостатньо уваги. Відсутність відповідного закону обумовлюється невизначеністю на сьогоднішній день низки питань адміністративно-територіального характеру, зокрема потребує вдосконалення порядку встановлення в натурі змінених меж міст, необхідності урахування громадської думки при зміні міських меж, встановлення розміру компенсацій та порядку їх виплат при зміні меж міських населених пунктів, а також визначення в порядку якого судочинства має розглядатися спір, що виникає з вищезазначеного приводу, тощо. На сьогоднішній день більшість населених пунктів стрімко розвиваються і потребують розширення території. В зв'язку з цим проводиться зміна меж населених пунктів, яка обґрунтовується необхідністю вирішення актуальних містобудівних питань, зокрема формування резервів житлових та виробничих територій, розміщення комунальних об'єктів, рекреаційних територій, охорона пам'яток історико-культурної спадщини, резервування територій та середніх виробництв з метою залучення інвестицій у виробництво [1].

Актуальність теми статті зумовлена пошуком шляхів удосконалення адміністративно-територіального устрою держави, правового статусу міських населених пунктів в Україні.

Аналіз досліджень і публікацій. Серед науковців цю проблематику певною мірою досліджували М. О. Баймуратов, О. В. Батанов, В. М. Кампо, В. В. Кравченко, В. С. Куйбіда, П. М. Любченко, І. Й. Магновський, М. П. Орзіх, М. О. Пухтинський, П. А. Трачук, О. Ф. Фрицький, В. М. Шкабаро, М. В. Шульга та ін.

Постановка задачі. Систему адміністративно-територіального устрою нашої держави складають АРК, області, райони, міста, райони в містах, селища і села. Вони являють собою частини території України, які є просторовою базою для організації та діяльності місцевих органів виконавчої влади і місцевого самоврядування. Територія кожного адміністративно-територіального утворення має свої межі – згідно ст.173 Земельного кодексу України [2], умовні замкнені лінії на поверхні землі, що відокремлюють її від інших територій. Ці межі встановлюються і змінюються за проектами землеустрою, які розробляються державними та іншими землепорядковими організаціями відповідно до техніко-економічного обґрунтування розвитку адміністративно-територіальних утворень, генеральних планів населених пунктів.

Територія однієї адміністративно-територіальної одиниці від іншої відокремлюється межею, яка визначена в коментованій главі як умовна замкнена лінія на поверхні землі. Згідно з Законом України «Про регулювання містобудівної діяльності» [6] територією є частина земної поверхні з повітряним простором та розташованими під нею надрами у визначених межах (кордонах), що має певне географічне положення, природні та створені в результаті діяльності людей умови і ресурси. Межа не тільки визначає зовнішні кордони території, але й встановлює територію конкретної адміністративно-територіальної одиниці, на якій реалізуються повноваження відповідних компетентних органів.

Межі району, села, селища, міста, району у місті встановлюються і змінюються за проектами землеустрою щодо встановлення (зміни) меж адміністративно-територіальних одиниць, які розробляються з урахуванням генеральних планів населених пунктів.

Включення земельних ділянок у межі району, села, селища, міста, району у місті не тягне за собою припинення права власності і права користування цими ділянками, крім земельних ділянок, визначених частиною четвертою цієї статті. Пунктом 4 коментованої статті 173 встановлено, що землі та земельні ділянки державної власності, включені в межі населеного пункту (крім земель, які не можуть передаватися у комунальну власність), переходять у власність територіальної громади [3]. Рішення про встановлення меж населеного пункту та витяги з Державного земельного кадастру про межу відповідної адміністративно-територіальної одиниці та про відповідні земельні ділянки, право власності на які переходить до територіальної громади, є підставою для державної реєстрації права комунальної власності на такі земельні ділянки [4].

Межі адміністративно-територіальних одиниць встановлюються в порядку та відповідно до закону. Закон України «Про землеустрій» [5] передбачає, що проект землеустрою щодо встановлення (зміни) меж адміністративно-територіальних одиниць включає:

- пояснювальну записку;
- завдання на виконання робіт;

рішення про розроблення проекту землеустрою щодо встановлення або зміни меж адміністративно-територіальних одиниць;

посвідчені в установленому порядку копії генерального плану населеного пункту, рішень про його затвердження (у разі зміни меж населеного пункту);

викопіювання із схеми землеустрою і техніко-економічного обґрунтування використання та охорони земель адміністративно-територіальної одиниці (утворення), а у разі її відсутності – викопіювання із проекту формування територій сільських, селищних рад;

викопіювання із кадастрових карт (планів) з відображенням існуючих (за їх наявності) та проектних меж адміністративно-територіальної одиниці;

експлікація земель в існуючих (за їх наявності) та проектних межах адміністративно-територіальної одиниці;

опис меж адміністративно-територіальних одиниць;

матеріали погодження проекту;

матеріали вивезу меж адміністративно-територіальних одиниць в натуру (на місцевість) з каталогом координат їх поворотних точок.

У цьому ж законі встановлено, що проект землеустрою щодо встановлення (зміни) меж адміністративно-територіальної одиниці підлягає погодженню сільськими, селищними, міськими, районними радами, районними державними адміністраціями, за рахунок території яких планується здійснити розширення її меж.

Зміна меж адміністративно-територіальних утворень (населених пунктів) виконується з метою створення належних умов для самостійного вирішення органами місцевого самоврядування усіх питань місцевого життя [6, 7].

Основні дослідження щодо даної тематики спрямовані на вдосконалення робіт із зміни меж адміністративно-територіальних утворень. Враховуючи всі види робіт, як геодезичних так і землевпорядних, необхідна покрокова інструкція щодо формування проекту землеустрою щодо зміни меж адміністративно-територіальних утворень [9]. Порядок виконання робіт [8]:

органами місцевого самоврядування надається рішення про розробку генерального плану;

складається договір на виконання робіт між замовником та виконавцем про виконання топографічного знімання території. В першу чергу органу місцевого самоврядування необхідно укласти угоду із землевпорядною організацією, матеріали якої стануть підосновою для генерального плану. Також складається угода з архітектурно-проектною організацією про виготовлення генплану. Проектна організація в письмовій формі складає вимоги до топографічного знімання і передає їх до землевпорядної організації. Землевпорядна організація передає плани топографічного знімання замовнику, який передає їх в проектну організацію;

визначення представниками органів місцевого самоврядування земельних ділянок, які будуть внесені у межі населеного пункту із землевпорядною організацією, яка буде розробляти документацію щодо встановлення (зміни) меж адміністративно-територіальних утворень (населених пунктів);

виведення існуючої та проектової межі населеного пункту землевпорядною організацією. Дана операція потрібна для проведення геодезичної зйомки (інструментальної або аерофотозйомки), яка призначена для актуалізації картографічної основи місцевості, розширення меж та створення генерального плану;

проведення геодезичного знімання території та створення цифрової моделі місцевості;

виготовлення генерального плану згідно ДБН А.1.1 – 15:2012;

проведення громадських слухань на основі Постанови Кабінету Міністрів «Про затвердження Порядку проведення громадських слухань щодо врахування громадських інтересів під час розроблення проектів містобудівної документації на місцевому рівні» від 25 травня 2011 р. № 555. У разі побажання громади межі можуть змінюватися;

приймання рішення органами місцевого самоврядування разом з громадою про розробку проекту землеустрою щодо встановлення (зміни) меж адміністративно-територіальних утворень;

складання договору на виконання робіт між замовником та виконавцем про розробку проекту землеустрою щодо встановлення (зміни) меж адміністративно-територіальних утворень;

виготовлення проекту землеустрою щодо встановлення (зміни) меж адміністративно-територіальних утворень (текстова та графічна частина);

сільською радою надається рішення про погодження проекту землеустрою щодо встановлення (зміни) меж адміністративно-територіальних утворень;
районна державна адміністрація погоджує рішенням зміну меж;
районний відділ Держгеокадастру надає висновок про погодження проекту землеустрою щодо зміни меж.

При зміні меж адміністративно-територіальних утворень виконуються геодезичні роботи. Методика виконання GNNS знімання планово-висотної основи GNNS знімання та визначення координат опорних пунктів планово-висотної основи виконувалось в режимі RTK (кінематичне знімання у режимі реального часу – від англ. Real Time Kinematic). RTK – найбільш продуктивний режим визначення координат.

Використання RTK методу у GNSS – спостереженнях має декілька переваг, таких як:
визначення координат можливе по усій зоні покриття мобільної мережі, де є GSM/GPRS сигнал і в місцях з можливістю підключення до мережі Інтернет іншими каналами зв'язку;
можливість безпосередньої роботи в будь-якій необхідній системі координат;
виключення грубих помилок вихідних пунктів за рахунок жорсткості закріплення антени перманентної станції GNSS мереж;

контроль точності безпосередньо під час виконання вимірювань;
час на визначення координат однієї точки – декілька секунд;
при роботі в режимі RTK, немає необхідності в пост обробці базових ліній та врівноваження мережі;

можливість використання додаткових сервісів – пост обробка даних RINEX, використання генерованої віртуальної базової станції при пост обробці кінематичних вимірів VRS (Virtual Reference Station), автоматична обробка даних і оцінка точності на сервері мережі (AutoPP, QC);
доступність даних 24 години в добу, 7 днів на тиждень;
можливість комплексного використання GNSS мережі.

Мета спостережень у режимі реального часу полягає у негайному визначенні координат пунктів при тривалості спостережень на пункті менше однієї хвилини. Даний метод вимагає виконання короткої процедури ініціалізації для визначення цілочислових неоднозначностей. Цей метод заснований на передачі поправок до роверного приймача через пристрій зв'язку від базової станції. Передача поправок здійснюється з допомогою програмного забезпечення пересувного приймача. Пересувний приймач використовує інформацію, надану від опорної станції, щоб визначити своє місцеположення [17].

Таким чином, оператор роверного GNSS приймача отримує координати у режимі реального часу.

Порядок виконання робіт із складання топографічних карт та інших спеціальних планів, зокрема і генеральних планів сільських населених місць, за своєю технологією істотно не відрізняються.

Першим етапом для всіх технологій є складання проекту.

Другий етап – це аерознімання об'єкта.

Третій етап – створення, математична обробка даних та складання графічного оригіналу карти.

Четвертий етап – дигіталізація картографічної інформації та створення цифрової карти.

П'ятий етап – формування текстових файлів і створення загальної бази даних [18].

Усі отримані файли геодезичних вимірювань опрацьовуються у програмному забезпеченні Digitals.

Модуль Geodesy – дозволяє імпортувати дані з більшості файлів електронних тахеометрів, вводити результати вимірів вручну, будувати різноманітні види теодолітних ходів, проводити їх спільне врівноваження з видачею звітів за результатами вимірювань. Виконує контроль помилок у вхідних даних з можливістю коректування вимірів. Отримані в результаті врівноваження координати пікетів передаються у модуль Digitals.

Необхідним під час створення цифрових планів та карт є врахування можливостей візуалізації їх змісту в адаптованих (дещо спрощених) або стандартних умовних знаках та кольорах традиційних карт з використанням програмно-технічного комплексу (кольорових графічних дисплеїв, графопобудовувачів та інших картографічних приладів). Це дасть можливість автоматизувати процес картографічної генералізації, редагування та контролю якості цифрових планів та карт [19].

Враховуючи всі види робіт, як геодезичних так і землевпорядних, інструкція щодо формування проекту землеустрою щодо зміни меж адміністративно-територіальних утворень (населених пунктів).

Порядок виконання робіт:

Органами місцевого самоврядування надається рішення про розробку генерального плану.

Складається договір на виконання робіт між замовником та виконавцем про виконання топографічного знімання території.

В першу чергу органу місцевого самоврядування необхідно укласти угоду із землевпорядною організацією, яка проведе топографічне знімання території (топозйомку), матеріали якої стануть підосною для генерального плану, зонінгу та ДПТ. Також заключається угода з архітектурно-проектною організацією, що має відповідну сертифікат на проведення робіт з виготовлення містобудівної документації, про виготовлення генплану (зонінгу, ДПТ). Проектна організація в письмовій формі складає вимоги до топографічного знімання і передає їх до землевпорядної організації через орган місцевого самоврядування. Землевпорядна організація передає готові плани топографічного знімання замовнику, який в свою чергу, передає їх в проектну організацію [17].

Визначення представниками органів місцевого самоврядування земельних ділянок, які будуть внесені у межі населеного пункту із землевпорядною організацією, яка буде розробляти документацію щодо встановлення (зміни) меж адміністративно-територіальних утворень (населених пунктів).

Виведення існуючої та проєктованої межі населеного пункту землевпорядною організацією.

Дана операція потрібна для проведення геодезичної зйомки (інструментальної або аерофотозйомки), яка призначена для актуалізації картографічної основи місцевості, розширення меж та створення генерального плану.

Проведення геодезичного знімання території та створення цифрової моделі місцевості.

Відбувається виготовлення генерального плану згідно ДБН А.1.1 – 15:2012 «Склад та зміст генерального плану населеного пункту».

При розробленні генерального плану враховують [20]:

генеральну схему планування території України [21];

схеми планування окремих частин території України, Автономної Республіки Крим, областей, районів та їх окремих частин;

стратегії, прогнози і програми економічного, демографічного, екологічного, соціального розвитку відповідної території;

чинну містобудівну документацію на місцевому рівні та проектну документацію;

інформацію містобудівного, земельного та інших кадастрів;

інвестиційні наміри юридичних і фізичних осіб щодо забудови та іншого використання території;

спеціалізовані схеми, проекти і програми розвитку інфраструктури населеного пункту, безпеки та організації дорожнього руху, охорони навколишнього природного середовища, охорони та збереження об'єктів культурної спадщини тощо.

Відбувається приймання рішення органами місцевого самоврядування разом з громадою про розробку проекту землеустрою щодо встановлення (зміни) меж адміністративно – територіальних утворень.

Складання договору на виконання робіт між замовником та виконавцем про розробку проекту землеустрою щодо встановлення (зміни) меж адміністративно – територіальних утворень.

У договорі на виконання робіт вказується:

повна інформація про замовника та виконавця;

предмет договору;

вартість робіт та порядок її обчислення;

порядок приймання та передачі робіт;

строк виконання робіт;

відповідальність сторін;

порядок вирішення спорів;

інші умови;

реквізити та підписи сторін.

Затвердження генерального плану населеного пункту органами місцевого самоврядування.
Виготовлення проекту землеустрою щодо встановлення (зміни) меж адміністративно-територіальних утворень (текстова та графічна частина).

Сільською радою надається рішення про погодження проекту землеустрою щодо встановлення (зміни) меж адміністративно-територіальних утворень.

Районна державна адміністрація погоджує рішенням зміну меж.

Виконавцем надається замовнику акт приймання – передачі виконаних робіт.

Виготовляється обмінний файл із земельними ділянками, які передаються із державної у комунальну власність.

Органом місцевого самоврядування надається акт приймання – передачі земельної ділянки Головному управлінню Держгеокадастру області.

Органи місцевого самоврядування отримують витяг, на яких вказані земельні ділянки із кадастровими номерами, які перейшли із державної у комунальну власність.

Завершується робота встановлення межових знаків на місцевість згідно Інструкції про встановлення (відновлення) меж земельних ділянок в натурі (на місцевості).

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином, межі населеного пункту вважаються встановленими, а органи місцевого самоврядування набувають права розпоряджатися земельними ділянками, які відповідно до розроблених проектів щодо встановлення меж відповідної сільської, селищної, міської ради включаються до їх територій, після встановлення (винесення) меж території населеного пункту в натуру (на місцевість), закріплення меж території межовими знаками та внесення відомостей про земельну ділянку до державного земельного кадастру (АС ДЗК). Також слід зазначити, що згідно із частиною першою статті 174 Земельного кодексу України [2] рішення про встановлення і зміну меж районів і міст приймається Верховною Радою України за поданням обласних, Київської чи Севастопольської міської рад.

При цьому варто зазначити, що питання встановлення і зміни меж адміністративно-територіальних одиниць України не є суто теоретичною проблемою. Вирішення даної проблеми має вагомий значення в практичному аспекті, оскільки в разі позитивного вирішення питання, зокрема:

збільшується площа населених пунктів;

розширюється юрисдикція державних органів;

збільшується можливість соціально-економічного розвитку;

на законному рівні відбувається процес включення земель сільськогосподарського значення, земель, зайнятих внутрішніми водами, до меж інших адміністративно-територіальних одиниць та ін.

Список літератури

1. **Сирбу А.В.** Обґрунтування робіт із землеустрою щодо зміни меж адміністративно-територіальних утворень / В.Д. Сидоренко, А.Ю. Паламар, А.В. Сирбу // Розвиток промисловості та суспільства: міжнар. наук.-техн. конф., 23–25 трав. 2018 р. : тези доп. – Кривий Ріг. – 2018. – С.
2. Земельний кодекс України // Відом. Верхов. Ради України. □ 2002. □ № 3 □ 4. □ Ст. 27.
3. Про місцеве самоврядування в Україні : Закон України від 21 травня 1997 р. № 280 / 97 // Відом. Верхов. Ради України. □ 1997. □ № 24. □ Ст. 170.
4. Про місцеві державні адміністрації : Закон України від 9 квітня 1999 р. № 586-ХГУ // Відом. Верхов. Ради України. □ 1999. □ № 20 □ 21. □ Ст. 190.
5. Про землеустрій : Закон України від 22 травня 2003 р. № 858-ГУ // Відом. Верхов. Ради України. □ 2003. □ № 36. □ Ст. 282.
6. Про регулювання містобудівної діяльності : Закон України від 17 лютого 2011 р. № 3038-ГУ // Відом. Верхов. Ради України. □ 2011. □ № 34. □ Ст. 343.
7. **Саханенко С. Є.** Територіальні основи організації публічної влади в Україні : конспект лекцій / С. Є. Саханенко; Нац. акад. держ. упр. при Президентові України, Одес. регіон. ін-т держ. упр. □ О. : ОРІДУ УАДУ, 2003. □ 194 с. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.center.uct.ua/distants/courses/pu01/htm/p03_04.htm.
8. **Ріпенко А.** Деякі проблемні питання правового забезпечення зміни меж міст в Україні // Земельне право України: теорія і практика. □ 2010. □ № 07. □ С. 9.
9. Про затвердження Методичних рекомендацій з розробки проекту землеустрою щодо встановлення або зміни меж населеного пункту: наказ Держкомзему № 165 від 10.07.2008 р.
10. **Кравченко В. В.** Конституційне право України : навч. посіб. □ 2-ге вид., допов. □ К. : Атіка, 2002. □ С. 357

11. Вдосконалення системи адміністративно-територіального устрою в Україні: автореф. дис... канд. екон. наук: 08.00.05 [Електронний ресурс] / О.В. Чернюк; НАН України. Рада по вивч. продукт. сил України. – К., 2007. – 20 с.
12. **Третяк А.М., Другак В.М., Третяк Р.А.** Формування меж адміністративно-територіальних утворень. Навчально-методичний посібник. К.: ТОВ ЦЗРУ, 2004. – 85 с
13. Державний устрій України: проблеми теорії і практики: Автореф. дис... д-ра політ. наук: 23.00.02 [Електронний ресурс] / С.О. Телешун; НАН України. Ін-т держави і права ім. В.М.Корецького. – К., 2000. – 34 с.
14. Реформування адміністративно-територіального устрою України: проблеми та перспективи реалізації [Електронний ресурс] / А.П. Павлюк // Стратегічні пріоритети, №1(2), 2007 р. – Режим доступу: <http://old.niss.gov.ua/book/StrPrvor/2/4-3-Pavliuk.pdf>
15. Проблеми державного земельного кадастру в Україні [Електронний ресурс] / А.Г. Мартин. – Режим доступу: http://www.myland.org.ua/userfiles/file/AGMartyn_cadastre.pdf
16. **N. Brown, I. Geisler** and L. Troyer RTK Rover Performance using the Master – Auxiliary Concept // Networked Reference Stations and Structural Monitoring Leica Geosystems, Heinrich – Wild – Strasse, Heerbrugg, 9435, Switzerland, 2006.–с.135 – 144.
17. **Кордуба Ю., Смірнов С.** Фотограмметрія. – К. – 2007. – 205 с.
18. **А.Л. Островський, О.І. Мороз, В.Л. Тарнавський.** Геодезія. – Львів: 2007 – С.482 – 485.
19. Про порядок розроблення генеральних планів [Електронний ресурс] // Здолбунівська районна державна адміністрація. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://zdolbun.gov.ua/shema-rozroblennya-generalnyh-planiv/>.
20. Державні будівельні норми України "Склад та зміст генерального плану населеного пункту" ДБН Б.1.1 – 15:2012 [Електронний ресурс] // Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово – комунального господарства України. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <http://ndpi.com.ua/articles/22.pdf>.
21. Закон України «Про Генеральну схему планування території України» від 7 лютого 2002 року № 3059 – III

Рукопис подано до редакції 18.04.2018

УДК 624.153.524

Р.О.ТІМЧЕНКО, д-р техн. наук, проф., Д.А. КРІШКО, канд. техн.наук, ст. викл.,
І.В.ХОРУЖЕНКО, асист., Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДЧАСТОГО ФУНДАМЕНТУ-ОБОЛОНКИ НА ВЕЛИЧИНУ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ОСНОВИ

Мета. Проектування оптимальних конструктивних рішень з урахуванням конкретних умов експлуатації одна з головних інженерних задач. Впровадження в роботу програмних комплексів на основі МКЕ при моделюванні ґрунтової основи, її взаємодії з фундаментною конструкцією, аналізу роботи системи в цілому. Моделювання сумісної роботи фундаментної конструкції складної форми та ґрунтової основи, де необхідно підібрати модель ґрунтової основи, врахувати всі вихідні параметри, зімітувати роботу фундаменту до моменту повного залучення ґрунтової основи у роботу.

Методи дослідження. При вирішенні контактних задач застосовується метод кінцевих елементів, що активно використовується в сучасних програмних комплексах для моделюванні інженерних конструкцій, взаємодій та явищ. Програмні комплекси на основі методу кінцевих елементів, наприклад: Feadam, Sage-Crisp, Plaxis, Ansys, LiraSap, Nastran, ABAQUS та інш.

Наукова новизна. Встановлення залежності між зміною геометричних параметрів штапу та несучою здатністю ґрунтової основи.

Практична значимість. Дослідження дають змогу оцінити роботу структурних фундаментів при зміні геометричних параметрів, математичне моделювання дозволяє всесторонньо проаналізувати результати та врахувати недоліки системи при подальших дослідженнях.

Результати. Встановлено, що при моделюванні особливу увагу слід звертати на призначення початкових параметрів системи, на вибір типу кінцевих елементів і оптимальної моделі ґрунтової основи. Було виконано моделювання взаємодії складчастого фундаменту з основою в умовах плоскої задачі за допомогою програмного комплексу LiraSap-2013. Проаналізовано характер роботи фундаменту при різних умовах взаємодії з основою та при різних розмірах опорних частин складки. В процесі аналізу було встановлено, що при математичному моделюванні фундаментної складки в плоскій задачі зміна ширини опорної частини суттєво не впливає на несучу здатність основи. Проте це може бути наслідком того, що аналіз виконувався в плоскій постановці. Тому дані результати є основою для подальшого аналізу та досліджень при моделюванні об'ємної задачі.

Ключові слова: складчастий фундамент, метод кінцевих елементів, напружено-деформований стан.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-148-153

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Проектування оптимальних конструктивних рішень з урахуванням конкретних умов експлуатації одна з головних інженерних задач. При вирішенні геотехнічних задач основною метою є вивчення умов взаємодії фундаментних конструкцій з основою, визначення факторів та чинників, що впливають на напружено-деформований стан основи. Одним із методів досліджень напружено-деформованого стану є математичне моделювання, завдяки якому можна проаналізувати вплив різних параметрів на несучу здатність основи. Основним інструментом для математичного моделювання є метод кінцевих елементів (МКЕ), що активно використовується для вирішення інженерних задач, зокрема геотехнічних. На сьогоднішній день існують різноманітні програмні комплекси на основі методу кінцевих елементів, наприклад: Feadam, Sage-Crisp, Plaxis, Ansys, LiraSap, Nastran, ABAQUS та інш. Вони відрізняються способами завдання моделі ґрунтової основи, та мають свої певні інструменти для зміни та коригування вихідних параметрів та аналізу. В той же час, при використанні будь-яких із програмних комплексів актуальним є також моделювання фундаментних конструкцій нестандартних форм та видів [1]. На сьогоднішній день досвід використання програмних комплексів для моделювання складних фундаментних систем у поєднанні з ґрунтовою основою має не достатню вивченість.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженням напружено-деформованого стану основи займалися багато вчених галузі, як вітчизняні, так і закордонні, використовуючи в своїх роботах різноманітні методи та інструменти аналізу [2-7]. Напружено-деформований стан суцільних фундаментів оболонок досить близько відповідає напружено деформованому стану оболонок у покриттях. Під час експериментальних досліджень заміри напружень в основі показали, що форма підшови фундаменту впливає, в основному, на розподіл напружень поблизу підшови [8]. Великим є вплив форми підшови на розподіл горизонтальних напружень на досить великому віддаленні від підшови (рис. 1). Дослідження методом фотопружності на об'ємних моделях основ підтвердили вплив форми підшови на розподіл контактних тисків. Було встановлено, що розподіл напружень під плоским та увігнутими штампами в основному аналогічно, але під краями жорсткого увігнутого штампу спостерігається велика концентрація напружень. Великий вплив на розподіл контактних тисків має жорсткість фундаменту. Зміни жорсткості оболонки може призвести до якісної зміни форми епюри контактних тисків.

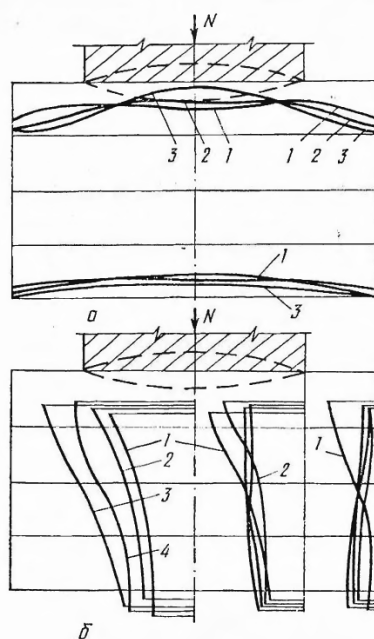


Рис. 1 Епюри напружень біля основи: *a* – у горизонтальних перерізах; *б* – у вертикальних перерізах; 1-3 – випуклий, плоский та увігнутий штамп; 4 – теоретичне рішення

На сучасному етапі розвитку наукових досліджень у сфері геотехнології актуальним є використання програмних комплексів на основі методу кінцевих елементів. Першочергово при аналізі наукових досліджень приділяється увага дослідженню використання програмних комплексів при математичному моделюванні фундаментів-оболонок різного типу при взаємодії з ґрунтовою основою. Mahmoud Samir El-kady та Essam Farouk Badrawi провели експериментальні та числові дослідження із використанням п'яти квадратних фундаментів, з яких один фундамент плоскої форми в якості еталонного зразка та чотири фундаменти складеної форми оболонкового типу [9]. При математичному моделюванні використовувався програмний комплекс ABAQUS. У числовій моделі масив піщаного ґрунту описується 8-вузловим кубічним елементом трилінійного переміщення. Піщаний ґрунт моделюється як модель пружно-пластичного матеріалу з не пов'язаним правилом потоку з використанням моделі Кулона-Мора.

Фундаментні опори моделюються як пластичний матеріал за допомогою лінійного елемента з кубічними об'ємними елементами з 8 вузлами і обмеженою інтеграцією (рис. 2). У висновку була виявлена мінімальна розбіжність між експериментальними та числовими результатами.

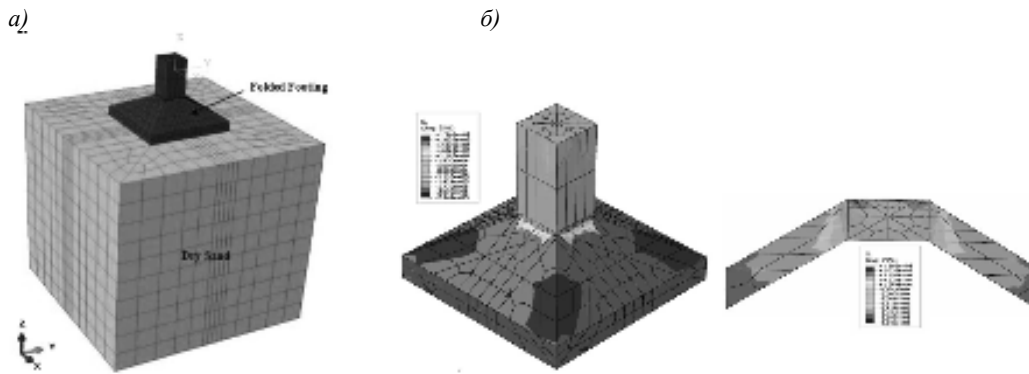


Рис. 2. Моделювання фундаменту та ґрунтової основи: *а* – сітка кінцевих елементів ґрунту основи та фундаменту; *б* – ізополя напружень для фундаменту типу «30 градусів»

Nisha P. Naik та Sabna Thilakan [10] досліджували роботу фундаменту-оболонки стовпчастого типу, аналізуючи різні кути нахилу бічних поверхонь. Моделі фундаментної деформації та властивості ґрунту були численно змодельовані за допомогою програмного забезпечення OptumG2 із застосуванням кінцевих елементів. Піщана модель Кулона-Мора, що доступна в OptumG2, була використана для імітації трьох ґрунтових умов, а саме, пухких, середніх і щільних станів. Був проведений багаточисельний пружно-пластичний аналіз на моделях. В результаті були отримані загальні напруження, максимальні вертикальні переміщення. Результати показали, що фундамент з конфігурацією оболонки демонструє більшу несучу здатність ніж звичайні плоскі плитні фундаменти.

Mohammed Y. Fattah аналізував роботу конічного фундаменту-оболонки у програмному комплексі ANSYS [11]. Тривимірний кубічний елемент (Solid 65) був використаний для моделювання бетону з армованими прутами або без них. Сталеві арматурні прутки були представлені за допомогою 2-вузлового стрижня (Link8 в ANSYS) і включені у властивості 8-вузлів елемента куба. Тип кінцевого елемента 45 зазвичай використовується для 3-D моделювання твердих конструкцій. Елемент визначається вісьмома вузлами, що мають три ступені свободи на кожному із вузлів. Завдяки використанню симетрії навантаження, геометрії і розподілу армування, RPC-конічні фундаменти були розглянуті в аналізі методом кінцевих елементів. Вибраний сегмент був змодельований за допомогою ізопараметричних шестигранних об'ємних елементів Solid 65.

Вчені Китаю Dongxue Hao, Rong Chen та Guangsen Fan займалися дослідженням граничної несучої здатності фундаментів опор ліній електропередач на структурно нестійких ґрунтах [12]. Математичне моделювання основи та фундаменту були здійснені у програмному комплексі ABAQUS. Монолітний залізобетонний фундамент моделювався як лінійний пластичний матеріал з модулем пружності 40ГПа та коефіцієнтом Пуассона 0,2. Ґрунт основи вважається однорідним пружно-пластичним матеріалом, що описується моделлю Друкера-Прагера. Пружні параметри $E = 30$ МПа, $\nu = 0,3$, $\gamma = 17$ кН/м³. Параметри моделі ґрунтової основи Кулона-Мора в тривісному напруженому стані, питоме зчеплення ґрунту та кут внутрішнього тертя можуть бути перетворені в параметри моделі Друкера-Прагера. При кінцево-елементному аналізі заглибленого фундаменту з розширеною основою поблизу розширеної бази завжди відбувається великі зміщення та деформації. Використання традиційних елементів Лагранжа в цих зонах можуть втратити точність [13]. На відміну від лагранжування, аналіз Ейлера є технікою кінцевих елементів, в яких матеріал може протікати через межі елементів у жорсткій сітці. Таким чином, Ейлерівська техніка може бути дуже ефективною при обробці задач, пов'язаних з дуже великими деформаціями, руйнуваннями матеріалу, з рідкими матеріалами. У цій роботі для дослідження ґрунту використовувався метод Ейлера.

Постановка завдання. Метою дослідження є вивчення впливу геометричних параметрів складчастого фундаменту-оболонки на величину несучої здатності основи, аналіз напружено-деформованого стану основи.

Викладення матеріалу та результати. Метою даного дослідження було вивчення напружено-деформованого стану фундаментної конструкцій та основи при їх контактній взаємодії. Завданням для даного етапу було проаналізувати вплив геометричних параметрів складчастого

фундаменту (ширина опорної частини) на несучу здатність ґрунтової основи та на осідання фундаментної конструкції.

Для математичного моделювання взаємодії фундаментної конструкції та ґрунтової основи було застосовано програмний комплекс LiraSap-2013. Було виконано моделювання однієї призматичної складки фундаменту з відомими геометричними параметрами та фізичними характеристиками [14, 15], надалі досліджувалася робота одного типового призматичного штампу при зміні умов роботи та взаємодії з ґрунтовою основою. Для дослідження напружено-деформованого стану основи при різних типах взаємодії системи «фундамент-основа» розв'язання задачі відбувалося у плоскій постановці.

Для моделювання призматичної складки використовувався кінцевий елемент типу 2, що відповідає кінцевому елементу (КЕ) плоскої рами (в кожному вузлі присутні 3 ступені свободи: X – переміщення вздовж вісі X ; Z – переміщення вздовж вісі Z ; UY – поворот навколо вісі Y). Для моделювання ґрунтової основи використовувалися кінцеві елементи 21 та 22, що є прямокутними та трикутними КЕ плоскої задачі (балка-стінка). Даний кінцевий елемент призначений для міцнісного розрахунку пластин, що навантажені у своїй площині $X1OZ1$, за замовчуванням такий КЕ дозволяє моделювати плоский напружений стан. При цьому нижня частина 1/3 ґрунтової товщі була змодельована кінцевими елементами більшого розміру для оптимізації процесу розрахунку [1].

В якості змінного параметру на даному етапі дослідження було обрано ширину опорної частини складки. В процесі математичного моделювання необхідно було дослідити як впливає цей параметр на несучу здатність основи. Основні геометричні параметри складки були незмінними, змінювалася тільки ширина опорної частини. Було обрано 3 варіанти – ширина опорної частини 10 см, 20 см і 30 см. Для визначення головних та еквівалентних напружень було обрано теорію Кулона-Мора (модель ґрунтової основи) у якості теорії міцності при оцінці несучої здатності ґрунтової основи. В якості ґрунтової основи було обрано пісок звичайний з характеристиками $c = 1,53 \text{ кПа}$, $e = 0,75$, $E = 11 \text{ МПа}$, $\varphi = 25^\circ$.

На початковому етапі складка була розміщена на поверхні ґрунтової, по центру складки було прикладено навантаження, яке поступово збільшували. Моделювався процес поступового потрапляння ґрунту основи у порожнину складки зі збільшенням навантаженням. В процесі фіксувалися значення еквівалентних напружень, що виникали в тілі основи. Основним критерієм граничної несучої здатності основи було виникнення пластичних деформацій основи. На рис. 3 зображено ізополя еквівалентних напружень при різних геометричних параметрах. При цьому фундамент з шириною опорної частини 10 см при взаємодії з основою витримав навантаження в 7,78 т, при ширині опорної частини 20 см – 7,54 т, при ширині опорної частини 30 см – 7,35 т.

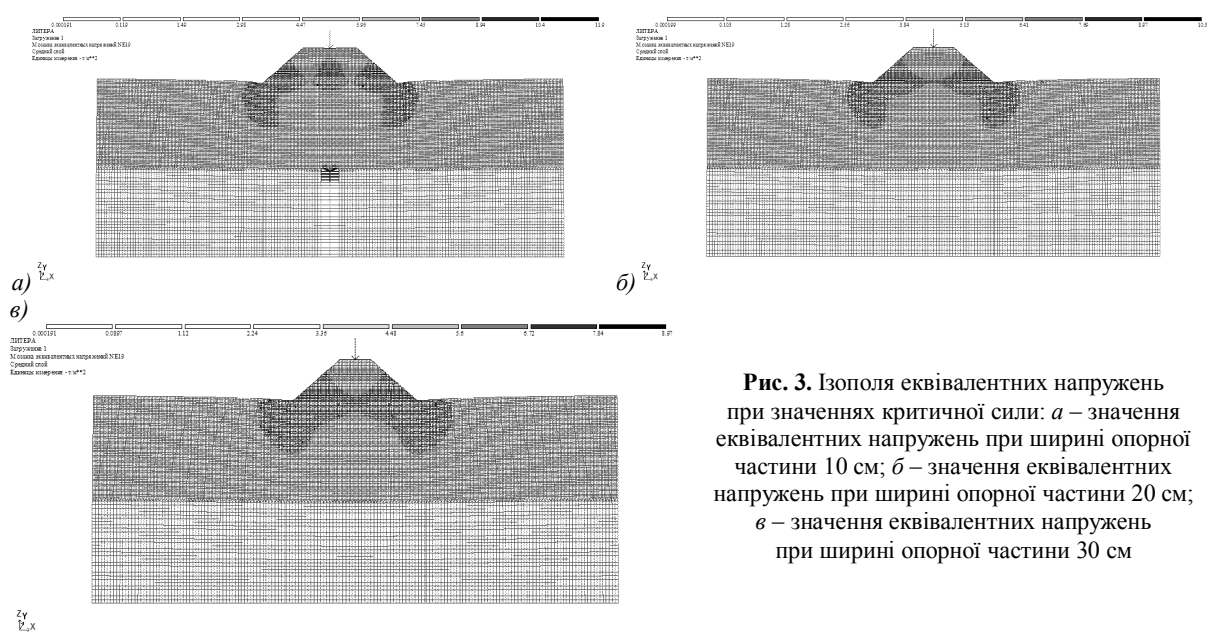


Рис. 3. Ізополя еквівалентних напружень при значеннях критичної сили: *a* – значення еквівалентних напружень при ширині опорної частини 10 см; *b* – значення еквівалентних напружень при ширині опорної частини 20 см; *v* – значення еквівалентних напружень при ширині опорної частини 30 см

В процесі поступово навантаження фіксувалися значення осідання фундаментної конструкції. В результаті було отримано графік залежності осідань від навантаження (рис. 4).

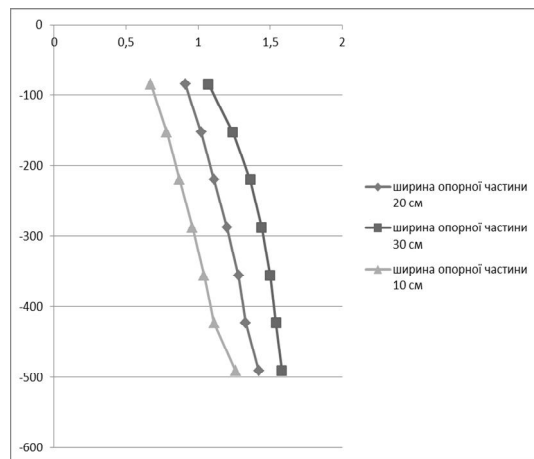


Рис. 4. Графік залежності осідань фундаменту від величини навантаження для трьох варіантів геометричних параметрів

На графіку видно, що залежність осідань від навантаження діє приблизно по лінійному закону і є прямопропорційною. При цьому фундамент із шириною опорної частини має найменшу величину осідань при однакових навантаженнях. Проте при досяганні межі пружності всі три варіанти фундаментних складок працюють однаково, і в результаті ми отримали однакові фінальні значення осідань.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Наукова новизна дослідження полягає у встановленні залежності між значеннями геометричних параметрів та несучою здатністю ґрунтової

основи. В процесі аналізу біло встановлено, що при математичному моделюванні фундаментної складки в плоскій задачі зміна ширина опорної частини суттєво не впливає на несучу здатність основи. Проте це може бути наслідком того, що аналіз виконувався в плоскій постановці. Тому данні результати є основою для подальшого аналізу та досліджень при моделюванні об'ємної задачі.

Список літератури

1. **Тимченко Р. А.** Mathematical modeling of the folded foundation interaction with the base by varying the structure stiffness / **R. A. Timchenko, D. A. Krishko, I. V. Khoruzhenko** // Academic Journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Issue 2 (51), 2018. – pp. 145-150.
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. **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.
4. **Timchenko R. A.** Construction solution of folded-plate shell foundation for power transmission towers / **R. A. Timchenko, D. A. Krishko, I. V. Khoruzhenko** // Academic Journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering. – № 2 (49), 2017. – pp. 207-214.
5. **Прознин Я. А.** Экспериментальные исследования взаимодействия мембранного фундамента с ґрунтовым основанием / **Я. А. Прознин, Л. Р. Епифанцева** // Всероссийская науч.-практ. конф. Молодых ученых и специалистов, посвященная XX-летию создания ООО НПО «Фундаментстройаркос»: Стратегия инновационного развития, строительства и освоения севера. – Тюмень, 2011. –С. 131-134.
6. **Kurian N. P.** Behaviour of shell foundations under subsidence of core soil / **N. P. Kurian** // Proc. 13 Int. Conf. Soil Mechanics and Foundation Engrg. – New Delhi, India, 1994. – № 2. – pp. 591-594.
7. **Huat B. K. B.** Finite Element Study Using FE Code (PLAXIS) on the Geotechnical Behavior of Shell Footings / **B. K. B. Huat, A. T. Mohammed** // Journal of Computer Science. – № 2 (1), 2006. – pp. 104-108.
8. **Тетиор А. Н.** Фундаменты-оболочки / **А. Н. Тетиор, А. Г. Литвиненко.** – М.: Стройиздат, 1975. –136 с.
9. **Mahmoud S. E.** Performance of isolated and folded footings / **S. E. Mahmoud, E. F. Badrawi** // Journal of Computational Design and Engineering 4 – 2017. – pp. 150-157. (doi.org/10.1016/j.jcde.2016.09.001).
10. **Nisha P. N.** Geotechnical behavior of shell foundations / **P. N. Nisha, S. Thilakan** // 50th Indian geotechnical conference. – Pune (India), 2015. – pp. 205-216.
11. **Fattah M. Y.** The Behavior of Conical Shell Foundation under Dynamic Loads / **M. Y. Fattah, W. A. Waryos, M. A. E. Al-Hamdani** // The 2nd International Conference of Buildings, Construction and Environmental Engineering (BCEE2-2015). – Volume:1. – At Beirut, Lebanon, 2015. – pp. 215-226.
12. **Hao D.** Ultimate Uplift Capacity of Transmission Tower Foundation in Undisturbed Excavated Soil / **D. Hao, R. Chen, G. Fan** // Energy Procedia 17, 2012. – pp. 1209 – 1216 (doi: 10.1016/j.egypro.2012.02.228).
13. **Tong L. C.** FE Simulation of Bulk Forming Processes with a Mixed Eulerian-Lagrangian Formulation. / **L. C. Tong** / PHD thesis. – Zurich: Swiss Federal Institute of Technology, 1995. – pp. 107-114.
14. Пат. 130294 Україна, МПК (2018.01) E02D 27/00. Фундамент під опори ліній електропередач / **Р. О. Тімченко, Д. А. Кришко, І. В. Хоруженко**; заявник і патентовласник – Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет». – № u201802105, заявл. 28.02.2018; опубл. 10.12.2018, Бюл. № 23. – 4 с.
15. **Тетиор А. Н.** Проектирование и сооружение экономичных конструкций фундаментов / **А. Н. Тетиор** – Киев: Изд-во «Будівельник», 1975. – 204 с.

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

**ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОЩНЫХ СИММЕТРИЧНЫХ
МНОГОУРОВНЕВЫХ КАСКАДНЫХ ИНВЕРТОРОВ
В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ВЕНТИЛЯТОРАМИ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ**

Цель. Выдвинуть требования к построению мощного электропривода вентилятора главного проветривания железорудных шахт, и возможность применения мощных симметричных многоуровневых каскадных инверторов с применением мостовых H ячеек.

Методы исследования. При проведении рассматриваемого в статье исследования решаются путем применения, как математического аппарата так, и были использованы основные теории преобразователей электропривода, и проведено математическое моделирование.

Научная новизна. Разработка высоковольтных мощных преобразователей с использованием современных многоуровневых каскадных инверторов на основе H – мостовых ячеек, для возможности регулирования скорости и производительности вентиляторов главного проветривания железорудных шахт

Практическая значимость. Повышение энергоэффективности железорудных шахт за счет внедрения регулируемого электропривода вентилятора главного проветривания, рассмотрено возможность применения многоуровневых каскадных схем инверторов.

Результаты. Мировые тенденции энергоресурсосбережения, а также современные направления развития техники и технологии железорудного производства доказывают, что требуется создание регулируемого электропривода вентиляторами главного проветривания (ВГП), к которым выдвинуты общепринятые требования по безопасности, одно из главных это непрерывное обеспечение подземных работ необходимым количеством свежего воздуха. Вентиляторы главного проветривания используют мощный высоковольтный электропривод с синхронным электрическим двигателем. В данное время для регулирования производительности вентиляторами главного проветривания используются повороты лопаток, и поворот заслонок. Следует учитывать требования к созданию регулируемого электропривода с максимальной производительностью ВГП. При совершенствовании систем вентиляции на железорудных шахтах и разработке энергосберегающей части функционально-технических требований к регулируемого электропривода вентиляторами главного проветривания важно рассмотреть возможные энергосберегающие мероприятия. Одним из таких является создание мощного высоковольтного преобразователя, который позволит увеличить максимальную эффективность электропривода ВГП. В данном исследовании была рассмотрена возможность построения силового преобразователя на основе многоуровневого каскадного инвертора с использованием H – мостовых ячеек и также приведены достоинства и недостатки данных преобразователей.

Ключевые слова: синхронный двигатель, преобразователь, многоуровневый каскадный инвертор, H-мостовые ячейки, вентиляторы главного проветривания.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-153-157

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. На современном этапе проектирование и эксплуатация высоковольтных электроприводов неразрывно связаны с требованиями повышения их эффективности функционирования, что может быть достигнуто за счет обеспечения плавного регулирования частоты вращения электродвигателей. Для этого электроприводы, как правило, оснащаются высоковольтными преобразователями частоты (ВПЧ). В настоящее время существуют несколько топологий построения ВПЧ, наиболее перспективными из которых являются преобразователи, выполненные на базе многоуровневых автономных инверторов напряжения, которые наряду с делением напряжений на последовательно включенных полупроводниковых приборах обеспечивают форму выходного напряжения, приближающуюся к синусоиде [1–3].

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время многие исследователи и научные коллективы занимаются исследованиями, связанными с созданием мощного высоковольтного регулируемого электропривода с синхронным двигателем. Работы в этой области в настоящее время ведутся такими отечественными и зарубежными исследователями, как Н. Донской, P. W. Hammond, W. A. Hill, R. H. Osman, N. Mohan, P. W. Wheeler, M. D. Manjrekar, G. Carrara, S. Gardella, L. M. Tolbert [1–8].

Постановка задачи. Исследование электропривода вентилятора главного проветривания и рассмотрение возможности создания современного мощного регулируемого высоковольтного синхронного электропривода.

Изложение материала и результаты. Мировые тенденции энергоресурсосбережения, а также современные направления развития техники и технологии железорудного производства доказывают, что требуется создание регулируемого электропривода вентиляторами главного проветривания (ВГП), к которым выдвинуты общепринятые требования по безопасности, т. е. непрерывного обеспечения подземных работ необходимым количеством свежего воздуха. Следует учитывать требования к созданию регулируемого электропривода с максимальной производительностью ВГП. При совершенствовании систем вентиляции на железорудных шахтах и разработке энергосберегающей части функционально-технических требований к регулируемого электропривода вентиляторами главного проветривания важно рассмотреть возможные энергосберегающие мероприятия (ВЭМ) [9,10].

В данное время для привода больших вентиляторов применяется в основном синхронные электродвигатели общепромышленного исполнения. Современный регулируемый высоковольтный синхронный электропривод должны отвечать требованиям таким как [9,10]:

максимальный КПД;

широкий диапазон плавной установки скорости вращения, момента, ускорения, угла и линейного положения;

быстрое удаление ошибок при изменении управляющих сигналов и/или помех;

максимальное использование мощности двигателя во время сниженного напряжения или тока;

надежность, интуитивное управление.

Одним из таких решений может стать многоуровневый каскадный преобразователь основанные на модульных силовых ячейках со схемой Н-мост[1-4].

Многоуровневый преобразователь каскадного типа Н-моста – один из популярных преобразователей топологии, используемые в приводах большой мощности, среднего напряжения [1–3], которые состоят из нескольких единиц однофазных силовых элементов Н-моста. Ячейки Н-моста обычно соединены в каскад и на стороне переменного тока для достижения среднего напряжения, с не большими гармоническими искажениями. На практике количество силовых элементов в инверторе каскадного Н-моста в основном определяется его рабочим напряжением и стоимостью производства. Например, в приводах среднего напряжения с номинальным межфазным напряжением 3300 В, девятиуровневый инвертор может использоваться, инвертор каскадного Н-моста который имеет 12 силовых элементов, каждый из которых использует элементы с напряжением 600 В [1]. Использование идентичных силовых элементов приводит к модульной структуре, и является эффективным средством для снижения затрат.

Для многоуровневого инвертора каскадного Н-моста (рис.1) требуется несколько изолированных источников постоянного тока, каждый из которых питает силовые элементы Н-моста. При создании постоянного напряжения обычно используют многоимпульсные диодные выпрямители (рис.2). Для семи- и девятиуровневых преобразователей: 18- и 24-импульсные диодные выпрямители могут использоваться соответственно для достижения низкое гармоническое искажение тока в линии и высоким коэффициентом мощности на входе[4-6].

Показана упрощенная принципиальная схема однофазного инвертора Н-моста.

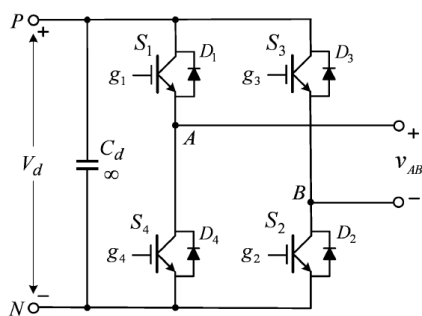


Рис 1. Однофазный Н-мостовой инвертор

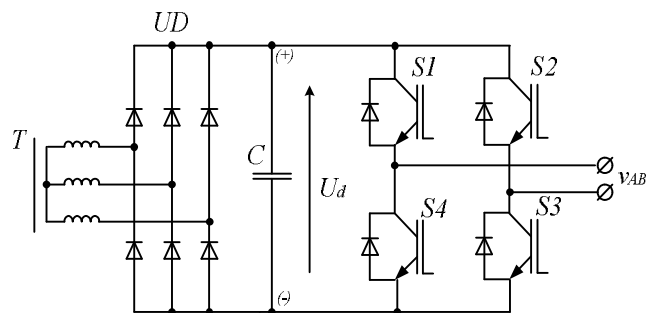


Рис 2. Принципова схема с диодным выпрямителем однофазный Н-мостовой инвертор

Напряжение V_d шины постоянного тока инвертора обычно фиксировано, в то время как его выходное напряжение переменного тока v_{AB} можно регулировать с помощью схем биполярной или униполярной модуляции.

На рис. 3, 4 показан набор типичных сигналов инвертора Н-моста с биполярной модуляцией, где v_m - синусоидальная модулирующая волна, v_{cr} - треугольная несущая, а v_{g1} и v_{g3} - сигналы затвора для верхних переключателей S_1 и S_3 соответственно.

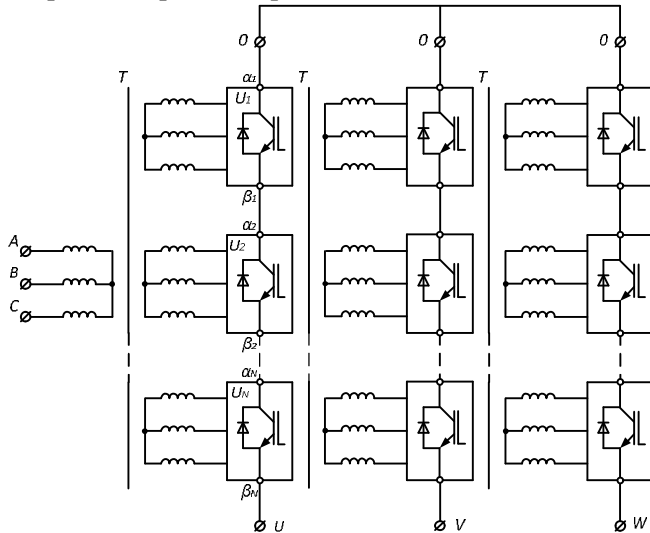


Рис. 3. Схема каскадного Н-мостового инвертора с подключением к силовому трансформатору

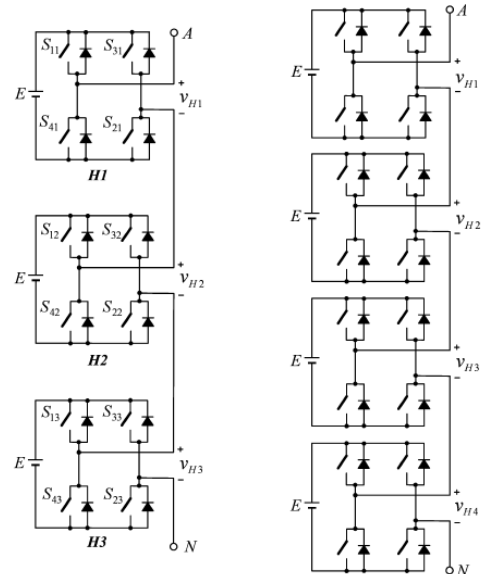


Рис. 4. Семь- и девятиуровневых преобразователей каскадного Н-мостового инвертора

Верхний и нижний переключатели в одном и том же плече инвертора работают дополняющим образом: один переключатель включен, а другой выключен. Таким образом, нам нужно рассмотреть два независимых стробирующих сигнала, v_{g1} и v_{g3} , которые генерируются путем сравнения v_m с v_{cr} . Можно получить кривые напряжений на клеммах инвертора v_{AN} и v_{BN} , из которых можно узнать выходное напряжение инвертора из $v_{AB} = v_{AN} - v_{BN}$. Поскольку форма сигнала v_{AB} переключается между положительным и отрицательным постоянным напряжением $\pm V_d$, эта схема называется биполярной модуляцией [4].

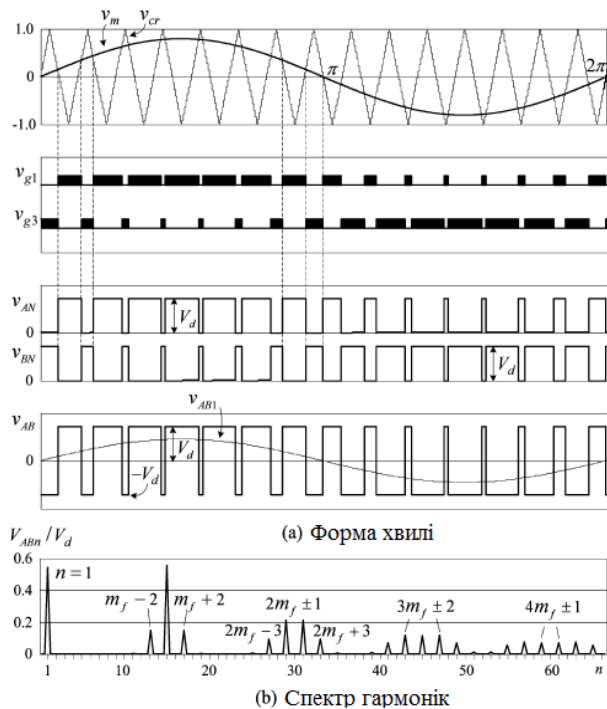


Рис. 5. Биполярный ШИМ для Н-мостового инвертора, работающего при $m_f = 15$, $m_a = 0,8$, $f_m = 50\text{Гц}$, и $f_{cr} = 900\text{Гц}$

Спектр гармоник выходного напряжения инвертора v_{AB} , нормированного на его напряжение постоянного тока V_d , показан на рис. 5, где V_{ABn} - действующее значение гармонического напряжения n -го порядка. Гармоники отображаются в виде боковых полос, центрированных вокруг индекса частотной модуляции m_f и его кратных значений, таких как $2m_f$ и $3m_f$. Гармоники напряжения с порядком ниже $(m_f - 2)$ либо исключены, либо малы. Частота переключения IGBT-устройства, называемая частотой переключения устройства $f_{sw,dew}$, равна несущей частоте f_{cr} . На рис. 5 показано содержание гармоник v_{AB} в зависимости от индекса амплитудной модуляции m_a . Основное напряжение V_{AB1} (среднеквадратичное значение) линейно возрастает с ростом m_a . Доминантная гармоника m_f имеет высокую

величину, которая даже выше, чем V_{AB1} для $m_a \leq 0.8$. Эта гармоника вместе с ее боковыми полосами может быть устранена с помощью схемы модуляции ширины униполярного импульса [4].

Инвертор состоящий из каскадного Н-моста представлен на рис. 3 может генерировать фазное напряжение с пятью уровнями напряжения. Когда коммутаторы S_{11} , S_{21} , S_{12} и S_{22} проводят, выходное напряжение ячеек H_1 и H_2 равно $v_{H1} = v_{H2} = E$, а результирующее напряжение фазы инвертора равно $v_{AN} = v_{H1} + v_{H2} = 2E$, которое является напряжением на клемма A инвертора относительно нейтрали N . И аналогично, при включенных S_{31} , S_{41} , S_{32} и S_{42} , $v_{AN} = -2E$ [4-6].

Другими тремя уровнями напряжения являются E , 0 и $-E$, которые соответствуют различным состояниям переключения, приведенным в табл. 1. Стоит отметить, что напряжение фазы инвертора v_{AN} не обязательно равно напряжению фазы нагрузки v_{AO} , которое является напряжением в узле A относительно нейтрали нагрузки O .

Таблица 1

Уровни напряжения и состояние переключения пятиуровневого преобразователя из каскадного Н-моста

Выходное напряжение v_{AN}	Состояние переключения					
	S_{11}	S_{31}	S_{12}	S_{32}	v_{H1}	v_{H2}
$2E$	1	0	1	0	E	E
E	1	0	1	1	E	0
	1	0	0	0	E	0
	1	1	1	0	0	E
	0	0	1	0	0	E
0	0	0	0	0	0	0
	0	0	1	1	0	0
	1	1	0	0	0	0
	1	1	1	1	0	0
	1	0	0	1	E	$-E$
	0	1	1	0	$-E$	$-E$
$-E$	0	1	1	1	$-E$	0
	0	1	0	0	$-E$	0
	1	1	0	1	0	$-E$
	0	0	0	1	0	$-E$
$-2E$	0	1	0	1	$-E$	$-E$

Из табл.1 можно наблюдать, что некоторые уровни напряжения могут быть получены более чем одним состоянием переключения. Например, уровень напряжения E может создаваться четырьмя наборами различных (избыточных) состояний переключения. Резервирование состояния переключения является обычным явлением в многоуровневых преобразователях. Это обеспечивает большую гибкость для разработки схемы переключения, особенно для схем пространственно-векторной модуляции[4].

Количество уровней напряжения в преобразователе каскадного Н-моста (КНМ) можно найти по формуле

$$m = (2H + 1), \quad (1)$$

где H - количество ячеек Н-моста на фазу. Уровень напряжения m всегда является нечетным числом для преоб-

разователя каскадного Н-моста, в то время как в других многоуровневых топологиях, таких как инверторы, с диодной фиксацией, он может быть четным или нечетным числом.

Инверторы состоящий их каскадных Н-мостовых ячеек, представленный выше, может быть создан на любое количество уровней напряжения. Структура семи- и девятиуровневых инверторов изображена на рис. 3, где у семиуровневого инвертора три каскада Н-мостиков в каскаде, а у девяти уровневых последовательно четыре ячейки. Общее количество активных переключателей (IGBT), используемых в преобразователях с каскадными Н-мостовыми ячейками, может быть рассчитано как

$$N_{sw} = 6(m - 1). \quad (2)$$

Многоуровневый инвертор КНМ имеет ряд особенностей и недостатков, в том числе: модульная структура. Многоуровневый инвертор состоит из нескольких блоков идентичных силовых элементов Н-моста, что приводит к снижению производственных затрат;

более низкий коэффициента нелинейных искажений и dv/dt . Форма выходного напряжения инвертора формируется несколькими уровнями напряжения с небольшими скачками напряжения. По сравнению с двухуровневым инвертором многоуровневый инвертор КНМ может создавать выходное напряжение с гораздо меньшими значениями коэффициента нелинейного искажения и dv/dt ;

работа с высоким напряжением выполняется последовательно без коммутационных устройств. Силовые ячейки мостового - Н соединены каскадно для создания высокого напряжения

переменного тока. Проблемы равного распределения напряжения для последовательно соединенных устройств устранены;

большое количество изолированных источников постоянного напряжения. Источники постоянного напряжения для преобразователя КНМ обычно получают от многоимпульсного диодного выпрямителя, использующего дорогой фазосдвигающий трансформатор;

большое количество компонентов. В преобразователе КНМ используется большое количество модулей IGBT. Для девятиуровневого преобразователя КНМ требуется 64 IGBT с таким же количеством драйверов для них.

Выводы и направление дальнейших исследований. Показана перспективность использования современных программных комплексов в процессе проектирования и конструирования преобразователей, что позволяет автоматизировать основные этапы их разработки. Предложенные схемотехнические решения позволили разработать и испытать высоковольтный преобразователь частоты для электропривода напряжением 6 кВ мощностью 2000 кВт. Разработанная схема с структурой Н – мостовой ячейки, выполненная на базе встречнопоследовательно соединенных IGBT-модулей с обратными диодами по сравнению с аналогичными схемами является более надежной и экономичной.

Список литературы

1. **P. W. Hammond**, A New Approach to Enhance Power Quality for Medium Voltage AC Drives, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 33, No. 1, pp. 202–208, 1997.
2. **W. A. Hill and C. D. Harbourt**, Performance of Medium Voltage Multilevel Inverters, IEEE Industry Applications Society (IAS) Conference, Vol. 2, pp. 1186–1192, 1999.
3. **R. H. Osman**, A Medium Voltage Drive Utilizing Series-Cell Multilevel Topology for Outstanding Power Quality, IEEE Industry Applications Society (IAS) Conference, pp. 2662–2669, 1999.
4. **N. Mohan, T. M. Undeland**, et al., Power Electronics—Converters, Applications and Design, 3rd edition, John Wiley & Sons, New York, 2003.
5. **P. W. Wheeler, L. Empringham, et al.**, Improved Output Waveform Quality for Multilevel H-Bridge Chain Converters Using Unequal Cell Voltages, IEE Power Electronics and Variable Speed Drives Conference, pp. 536–540, 2000.
6. **M. D. Manjrekar, P.K. Steimer, et al.**, Hybrid Multilevel Power Conversion System: A Competitive Solution for High Power Applications, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 36, No. 3, pp. 834–841, 2000.
7. **Mokhberdorani A, Ajami A.** Symmetric and asymmetric design and implementation of new cascaded multilevel inverter topology. IEEE Trans Power Electron 2014;29(12):6712–24.
8. **Донской Н.** Многоуровневые автономные инверторы для электропривода и электроэнергетики / Н. Донской, А. Иванов, В. Матисон, И. Ушаков // Силовая электроника. – 2008. – № 1. – С. 43–46.
9. **Фащиленко В.Н.** Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий. - Учеб. пособие. — М.: Горная Книга, 2011. — 260 с.
10. **Онищенко Г.Б., Юньков М.Г.** Электропривод турбомеханизмов – Москва: «Энергия», 1972. – 240 с.

Рукопись поступила в редакцию 16.04.2018

УДК 621.311.214

І.О. СІНЧУК, І.В. КАСАТКІНА, кандидати техн. наук, доценти,
О.В. ДОЗОРЕНКО, Р.І. КРАСНОПОЛЬСЬКИЙ, аспіранти
Криворізький національний університет

НОВИЙ ПОГЛЯД НА ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВОДОВІДЛИВНИХ УСТАНОВОК ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Мета. Метою даної роботи є оцінка можливостей та розробка аспектів теорії підвищення ефективності споживання електричної енергії в умовах вітчизняних залізрудних шахт шляхом використання гідроаккумуляторів на основі головних насосних установок.

Для досягнення поставленої мети проаналізовані напрямки розширення кордонів функціонування головних насосних установок водовідливних систем залізрудних шахт з можливістю використання їх в режимі генераторів електричної енергії (міні гідроакмулюючих електростанцій), що дасть можливість підвищити електроенергоєфективність даних видів підприємств.

Це дозволить підприємствам споживати в години максимуму, коли енергія має максимальну ціну, значно менше електроенергії, що дозволить відповідно, знизити, приблизно на 20%, плату за електроенергію. Може бути також поліпшений режим роботи системи електропостачання: знижені втрати напруги і енергії, поліпшений коефіцієнт потужності.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач і аналізу прийнятих схемотехнічних та алгоритмічних рішень використані наступні методи дослідження: методи математичної статистики – для дослідження енергоспоживання водовідливних систем залізрудних шахт; методи розрахунку електричних кіл – для розрахунку потужності гідрогенераторної установки при перетворенні енергії перекачуваної води в електричну енергію.

Наукова новизна. Вперше оцінена техніко-економічна ефективність та запропоновано напрямок підвищення енергоефективного функціонування насосних установок водовідливних систем в умовах вітчизняних залізрудних шахт шляхом використання їх у зворотному гідро-акумуляторному режимі і тим самим перетворення частини енергії технічної води в електричну енергію для живлення підземних споживачів.

Практична значимість. Застосування гідрогенераторів-акумуляторів, які працюють разом з насосними установками шахт і кар'єрів дозволяє в години максимуму енергосистеми (ранкового і вечірнього) виробляти електроенергію за рахунок енергії води, що спускається з поверхні шахти (кар'єру), поповнюючи водозбірник.

Результати. Покращення ефективності роботи системи енергопостачання залізрудних шахт реструктуризувавши її зі структури централізованого в варіант структури електропостачання з розсередженою генерацією, що дозволить знизити витрати напруги та потужності, підвищити коефіцієнт потужності, а також знизити матеріальні затрати.

Ключові слова: водовідлив, шахта, гідро-акумулятор, перетворення енергії, електроенергоефективність.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-157-164

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Одним із реальних та ефективних заходів для підвищення енергоефективності підприємств є використання особистих паливно-енергетичних ресурсів для автономних джерел живлення енергоприймачів [1-3]. Тобто системи енергопостачання підприємств реструктуризуються з централізованих структур у структури з розсередженою генерацією. Як факт, підкреслюємо, що в Україні в 2016 році лише 0,01 % електроенергії вироблялось нетрадиційними джерелами [1]. Проте вже в цьому році, тільки за шість місяців, в Україні за допомогою відновлювальних джерел було вироблено 850 млн. кВт·год електроенергії. Така позитивна динаміка надає поштовх для подальшого розвитку засобів та методів вироблення електроенергії з відновлюваних джерел і перш за все це стосується енергоємних підприємств до яких відносяться гірничо-металургійні виробництва [4-7].

В цьому спрямуванні, одним з нереалізованих напрямків є використання гідроакумуляуючих установок підприємств гірничо-металургійної промисловості. У підземних виробках шахт, кар'єрів та рудників згідно технології ведення робіт та правил техніки безпеки (ПТБ) постійно працюють водовідливні (дренажні) установки. Більше того, водовідливні установки функціонують і на відпрацьованих та законсервованих шахтах у тому ж режимі що і під час видобутку залізрудної сировини [8, 9].

Залізрудні підприємства, увійшовши в новий економічний період, дещо змінили своє ставлення до електроенергетичної складової економіки своїх підприємств. Більш того, як відомо, форма розрахунків підприємств за спожиту ЕЕ за цей період змінилася, і істотно, перейшовши від двох ставкових тарифів до одного ставкового з диференційованою оплатою в часи доби [9].

Підприємства намагаються в основному за рахунок організаційних заходів будувати добовий графік електроенергоспоживання таким чином, щоб в нічну зміну працювали найбільш енергоємні агрегати: водовідлив, частково скіпової підйом, тоді як у поза піковий час – інші споживачі.

Найбільше споживання електричної енергії в години «пік» і «напівпік» доводиться на водовідлив, частка якого по окремих шахтах сягає майже 90% в нічні години.

Таким чином, споживання підприємства в години максимуму, коли енергія має максимальну ціну, знижується і, відповідно, знижується плата за електроенергію. Може бути також поліпшений режим роботи системи електропостачання: знижені втрати напруги і енергії, поліпшений коефіцієнт потужності і ін.

Аналіз досліджень і публікацій. Незважаючи на прийняття різнонаправлених заходів в останні роки, проблеми вітчизняних гірничовидобувних підприємств збільшилися [3]. Це пов'я-

зано з тим, що в умовах поступової інтеграції України в Європейські ринкові структури надзвичайно гостро постають питання забезпечення енергоефективних технологій на зазначених вище видах підприємств, що мають можливість підвищити конкурентоспроможність рівня продукції.

Вирішення проблеми зменшення собівартості видобуваної ЗРС, в т. ч. шляхом зменшення енергопотреб на цей процес завжди було і є актуальною [4], тому і привертало до себе увагу наукових дослідників в різні періоди часу [5]. Між тим, рівень актуальності аналізованої проблеми з впливом часу не зменшився, а навпаки, зріс [6].

Пов'язано це з тим фактом, що енергопотреба в загальній собівартості видобутку ЗРС постійно зростає, і в останнє десятиріччя перевищила поріг у 30 % [4].

Нажаль, незважаючи на такий негативний факт, обсяг наукових пошуків у цьому напрямку в Україні за десять років зростання потреб не зріс. В зв'язку з цим вітчизняні залізрудні підприємства виходячи, в основному, зі своїх можливостей нерідко шляхом прийняття апріорно організаційних заходів, роблять спроби впливу на цей процес [7]. Особливо це стосується питань контролю за рівнем енергоспоживання, зменшення витрат електричної енергії в цехових системах живлення, оптимізації добових навантажень і т. п.

Безумовно, що ці вкрай необхідні напрямки досліджень, стосуються необхідності оцінки потенціалу можливостей застосування в системах енергопостачання даних видів підприємств автономних джерел генерації електроенергії (ЕЕ) на основі відновлюваних джерел [8]. Між тим, потенціальні можливості в структурах технології видобутку ЗРС існують. Це апріорно доведено в ряді відомих досліджень, в тому числі авторів [9].

Постановка завдання. Оцінка і визначення реальних техніко-економічних можливостей підвищення економічної ефективності роботи водовідливних установок діючих та законсервованих залізрудних підприємств за рахунок переведення їх роботи з пікових в економічну зону доби, а також застосування їх в якості гідрогенераторів-акумуляторів, які працюють разом з насосними установками.

Викладення матеріалу та результати. Використання енергії води для створення джерел електричної енергії за остання роки знову стало актуальною темою [10]. Відносно гірничих підприємств, то тут є позитивні моменти в цьому спрямуванні. Перш за все це стосується водовідливних установок шахт і кар'єрів. Водовідливні (дренажні) установки гірничих підприємств за призначенням підрозділяють на головні (центральні), допоміжні (дільничні) і тимчасові (прохідницькі). До головних відносяться установки, призначені для перехоплення і відкачування всього або більшої частини очікуваного припливу води з підземних гірничих виробок на поверхню в спеціальні водосховища технічних вод. Дільничні і прохідницькі забезпечують перекачку води з відповідних дільниць у центральний водовідлив.

З цієї класифікації основними виглядають центральні водовідливні установки, які отримують живлення від мережі напругою 6 кВ і являють собою об'єкти значного рівня енергоємності споживання в середньому до 40 % від загально споживаної електроенергії залізрудною шахтою (рис.1).

Головний водовідлив кожної сучасної діючої залізрудної шахти, розміщується на 2-х–3-х підземних горизонтах і складається з 4-х ступенів, яка включає в себе: водозбірники, насосну камеру, камеру підстанції і т. ін. Окрім діючих, водовідливи в повному обсязі функціонують і на непрацюючих (законсервованих) шахтах, що додатково підкреслює необхідність відповідної уваги до цієї структури як джерела електроспоживання.

В залізрудних шахтах кожна насосна камера водовідливу облаштовується стаціонарними насосними агрегатами, які складаються з: насоса ЦНС-300, електродвигуна, вакуум бака, запірної арматури і т. д.

Кількість насосних агрегатів і їх потужності кожного ступеня на кожній з шахт визначаються проектом.

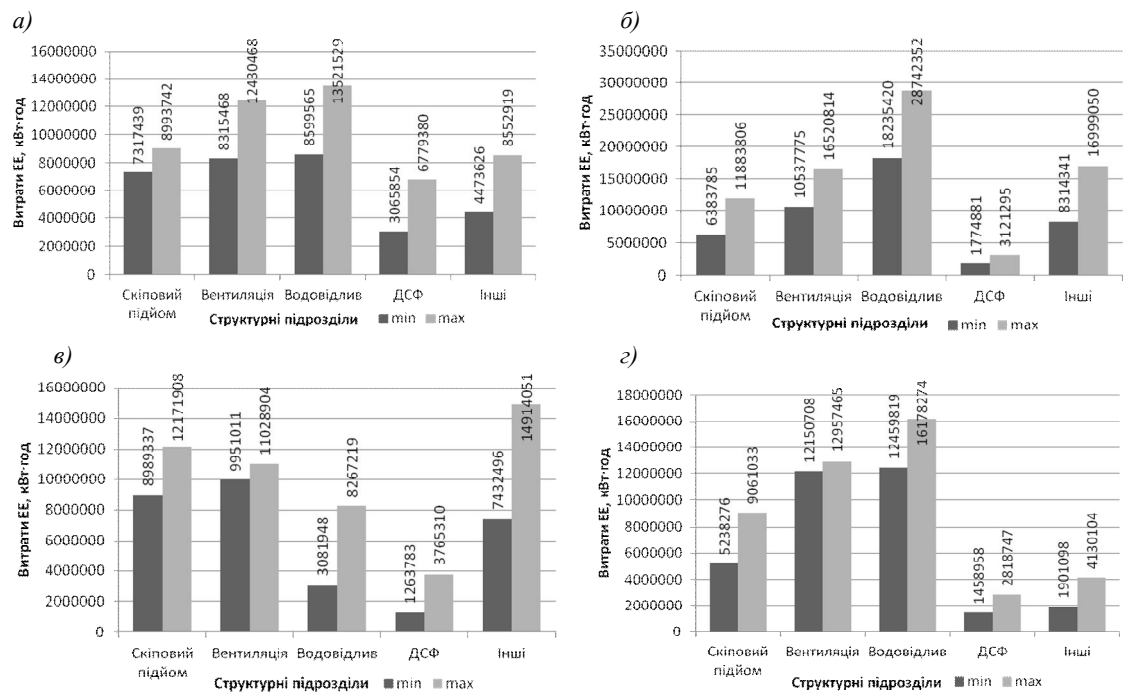


Рис. 1. Коливання споживання електричної енергії (кВт/год) за видами споживачів шахти «Жовтнева» за період 2013 – 2018 рік (м. Кривий Ріг): а- шахта «Жовтнева»; б- шахта «Родіна»; в- шахта «Гвардійська»; г- шахта «Тернівська»

Встановлені потужності електродвигунів водовідливних установок ряду залізорудних шахт представлені в табл. 1.

Кількість і потужність електродвигунів на шахтах м. Кривий Ріг

Таблиця 1

Шахта	Двигуни		
	потужність, кВт	кількість, шт.	загальна встановлена потужність, кВт
Тернівська	800	9	7200
	315	4	1260
	250	4	1000
			Усього 9460
Гвардійська	800	9	7200
	630	3	1890
	500	1	500
	315	3	945
			Усього 10535
Октябрська	800	8	6400
	400	8	3200
			Усього 9600
Родіна	800	20	16000
	560	6	3360
			Усього 19360

Відкачування води з підземних горизонтів рудних шахт здійснюється непротим за структурою і режимом роботи електромеханічним гідроенергетичним комплексом. Ця складність полягає в тому, що, по-перше, водоприток в шахтах і обсяги води для відкачування непостійні в часі, по-друге, що триває так звана «мокра консервація» відпрацьованих шахт, з одного боку, «збійка», тобто з'єднання підземних горизонтів різних шахт в єдиний комплекс, з іншого – поглиблення, тобто зниження рівня ведення гірничих робіт, ставить тактику вирішення завдання вибору раціональних режимів роботи водовідкачуючих насосів як електромеханічних комплексів, вимушених функціонувати в багатокритеріальному алгоритмі з невстановленим прогнозом [7].

Водовідлив – приймач ЕЕ, режими та рівні споживання якого фактично не залежать від обсягів видобутку ЗРС, а в основному від природного рівня притоку підземних вод. Як видно з наведених графіків об'єми відкачаної водовідливними установками води не мають стійкої за-

лежності від видобутку залізорудної сировини, а в останні роки при незначному зниженні цих обсягів має місце незначне підвищення водопритоку.

Обсяги водопритоку по залізорудним шахтам Криворізького залізорудного басейну представлені на рис.2.

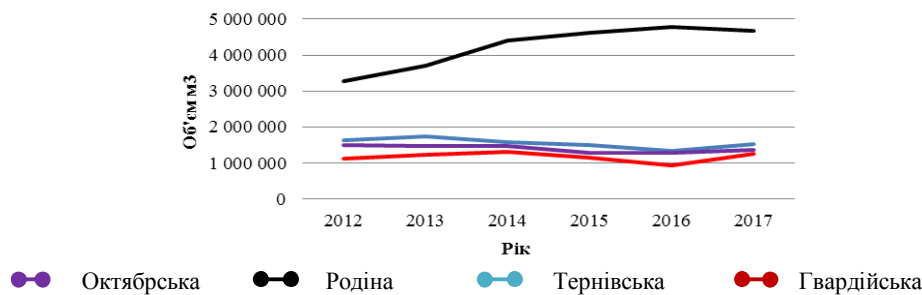


Рис. 2. Обсяги водопритоків по ряду залізорудних шахт

Як свідчить аналіз показників (рис.2), різниця обсягів водопритоків по аналізуємих шахтам сягає майже 2-х разів. Це суттєво впливає на обсяги споживання ЕЕ кожного суб'єкта.

Подальші дослідження режимів та параметрів функціонування водовідливних установок залізорудних шахт упродовж років дали можливість зробити висновок, що споживання електроенергії ними не залежить від календарного місяця року і має вірогідний характер.

Для поглиблення аналізу параметрів функціонування водовідливів шахт використовують такий параметр водо притоку, що являє собою співвідношення оберту річного водопритоку (m^3) до обсягу річного видобутку ЗРС (рис.3).

Як свідчить графік рис.3. цей коефіцієнт не постійний і по окремим шахтам (ш. «Родіна») характеризується значним рівнем коливань. Це додаткова складова в виборі параметрів пошуку для вирішення проблеми поліпшення енергоефективності конкретної шахти.

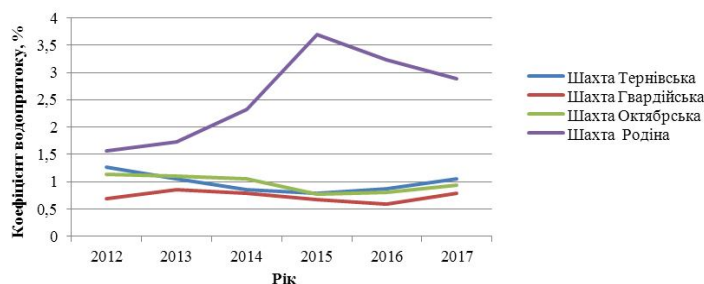


Рис. 3. Коефіцієнт водопритоку по шахтам м. Кривий Ріг

Аналіз роботи водовідливних установок упродовж однієї доби по різним залізорудним шахтам показує, що рівні споживання електроенергії головними водовідливними значно коливаються і стійкої залежності не мають.

Враховуючи значні рівні енергетичних потужностей головних водовідливів залізорудних шахт та їх системоутворюючі, які є значними в загальних обсягах споживання ЕЕ шахтою, логічно виглядає рішення по оптимізації графіків роботи насосних агрегатів, а значить і споживання енергії перш за все в годинах доби – згідно добових тарифів за спожиту енергію.

Цю аксіому підприємства вирішили і продовжують вирішувати в розрізі комплексу заходів з енергозбереження. Більш того, ця превентивна міра дозволила підприємствам отримати значний ефект (біля 18 %) шляхом економії матеріальних затрат за спожиту водовідливом ЕЕ.

Дійсно, аналіз роботи водовідливних установок за добу за останні роки дозволяє зробити висновок, що більшість шахт Криворізького залізорудного басейну роботу водовідливів перепланували з метою збільшення роботи у нічні години у зв'язку з можливістю зниження витрат при розрахунках за електроенергію.

Внаслідок роботи насосних водовідливних установок в нічній зоні, хоча її тривалість становить 7 годин, споживання електричної енергії складає 40-55 %, а в години «пік», тривалістю 6 годин – 22 %. Тобто, водовідлив є одним з найбільших споживачів електричної енергії в години «пік». У нічні години на шахтах згідно реальних можливостей планується наскільки це можливо максимальна по потужності робота водовідливних установок. Як показав аналіз роботи водовідливу по зонах доби за останні роки планові і фактичні показники майже зрівнялися і сягають максимальних значень – 50 %.

Аналіз показує, що не всі насоси працюють постійно, а деякі з загального комплексу включаються раз або кілька разів на добу для відкачування води. Коли водозбірники мають достатній обсяг для накопичення води, то відкачування води здійснюється повністю в нічний час (ш. «Гвардійська»). Коли цей обсяг не достатній для збору всієї води, то персонал змушений включати водовідливні установки і в денний час (ш. «Родіна» і ш. «Октябрська»).

Максимальний ефект досягається, якщо в нічні години вода повністю відкачується, а в інші години доби насоси не включаються. Але для цього необхідно мати достатній обсяг водозбірників (що проблематично згідно технології ведення гірничих робіт) і запас продуктивності насосів.

Між тим, аналіз проведений авторами показав, що і при такому підході не весь потенціал в плані втілення цих мір в шахтах використано.

Більш того, прогноз очікуемого росту обсягів водопритоку по факту збільшення глибини видобутку ЗРС в недалекому майбутньому може мінімізувати ці «організаційні досягнення». Між тим, поки що не проаналізовано і не вичерпана інша природна можливість шахтних водовідливів а саме можливість їх працювати у варіанті оборотних гідроагрегатів. Тобто не тільки споживати ЕЕ, а й ще виробляти її для потреб підземних приймачів. Як буде доведено далі тут є значні можливості.

В цьому варіанті перш за все змінюється структура системи електропостачання шахти трансформуючись з варіанта централізованого електропостачання в варіант схеми з розсередженою генерацією (з двома незалежними джерелами живлення).

В такому варіанті в часи максимуму енергосистеми (ранкового і вечірнього) генератор виробляє електроенергію за рахунок енергії води, що спускається з поверхні шахти або кар'єру, поповнюючи водозбірник.

Споживання підприємства в години максимуму, коли енергія має максимальну ціну, знижується і відповідно знижується плата за електроенергію. Може бути також поліпшений режим роботи системи електропостачання: знижені втрати напруги і енергії, поліпшений коефіцієнт потужності та ін.

У нічні години, коли ціна електроенергії мінімальна, включаються насоси водовідливу і відкачують воду з водозбірників, що накопичилася як від природного припливу, так і від роботи гідрогенератора.

Розглянемо енергетичні складові процесу.

Потенційна енергія води, що знаходиться на поверхні шахти або кар'єра дорівнює

$$W_{вод} = mgH, \text{ Дж}; \quad (1)$$

$$W_{вод} = mgH / 3,6 \cdot 10^6, \text{ кВт. год};$$

$$W_{вод} = V \cdot H / 360, \text{ кВт. год};$$

де m - маса води, кг; g - прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$; H - статичний напір або різниця геодезичних відміток, м.

У гідрогенераторній установці енергія води перетворюється в електричну енергію, кВт. год

$$W_{ед} = W_{вод} \cdot \eta_{ген}, \quad (2)$$

де $\eta_{ген}$ - сумарний к.к.д. гідрогенераторної установки, $\eta_{ген} = \eta_{турб} \cdot \eta_{сг} \cdot \eta_{тр}$, - відповідно к.к.д. турбіни, синхронного генератора, трубопроводів.

Потужність, що відправляється в мережу в години максимуму $t_{макс}$ (дорівнює 6 годинам), кВт. год

$$P_{ген} = W_{ед} / t_{макс} = W_{ед} / 6, \quad (3)$$

Цю ж кількість води буде потрібно відкачати насосними установками, для чого буде потрібно затратити енергію, кВт. год

$$W_{нас} = W_{вод} / \eta_{нас}, \quad (4)$$

де $\eta_{нас}$ - сумарний к.к.д. насосної установки, $\eta_{нас} = \eta_{дв} \cdot \eta_{нас} \cdot \eta_{тру}$ - відповідно к.к.д. двигуна, насосу, трубопроводів.

Потужність, споживана з мережі в нічні години $t_{ніч}$ (дорівнює 7 годинам), кВт.год

$$P_{потр} = W_{нас} / t_{ніч} = W_{нас} / 7, \quad (5)$$

Економія в оплаті електроенергії складе, грн.

$$E = W_{ел} \cdot C_{макс} - W_{нас} \cdot C_{ніч} , \quad (6)$$

де $C_{макс}$ - вартість 1 кВт.год в години максимуму енергосистеми; $C_{ніч}$ - вартість 1 кВт.год у нічні години.

З урахуванням складових вираз можна представити, грн.

$$W_{вод} = mgH / 3,6 \cdot 10^6 \cdot (C_{макс} \cdot \eta_{ген} - C_{ніч} \cdot \eta_{нас}) , \quad (7)$$

У загальному випадку економія пропорційна масі води і перепаду висоти.

Таким чином, можуть бути використані високонапорні гідрогенератори які використовуються для малих гідроелектростанцій у високогірній місцевості. При незначних перепадах висоти можуть бути використані зворотні установки, які працюють як в генераторному, так і в насосному режимі.

Висновки та напрямок подальших досліджень.

1. Одним з реальних напрямків подальшого підвищення енергоефективності видобутку залізорудної сировини є застосування на базі водовідливних установок шахт та кар'єрів оборотних гідроагрегатів (міні гідроакumuлюючих електростанцій) – джерел розсередженої генерації електричної енергії в структурах систем енергопостачання гірничих підприємств. При такому варіанті виробництва електроенергії достатньо для забезпечення живлення енергоємних споживачів залізорудної шахти на протязі годин «ПШК».

2. Для отримання електроенергії в режимі гідроакumuляції в шахтах необхідна установка додаткових водозбірників і реструктуризація системи електропостачання, що не може бути проблемою в досягненні поставленої мети.

Список літератури

1. **Стогній Б.С.** Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року/ Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П., Негодуйко В.О., Пертко П.П., Блінов І.В. – К.: Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. – 275 с.

2. **Сінчук О.М.** Кривбас на межі тисячоліть: шляхи відродження. / **О.М. Сінчук, А.Г. Бажал** – К.: АДЕФ-Україна, 1997. – 31 с.

3. **Сінчук О.М.** Метод оцінювання ефективності споживання електричної енергії залізрудними підприємствами / Сінчук О.М., Сінчук І.О., Берідзе Т.М., Ялова А.М. // Електротехнічні та комп'ютерні системи. Одеський НПУ. – 2013. – С.49-57.

4. **Сінчук І.О.** Відновлювальні та альтернативні джерела енергії: Навчальний посібник/**І.О.Сінчук, С.М.Бойко, О.Є.Мельник**// навчальний посібник – Кременчук:Видавництво ПП Щербатих О.В., 2015. – 270 с.

5. **Сінчук О.М.** Факторний простір і дослідження процесу споживання електричної енергії залізрудними підприємствами/ Сінчук О.М., Сінчук І.О., Ялова О.М., Вінник М.А. // Технологический аудит и резервы производства. – Харьков, 2015. - №2/1(22) – С. 48 – 55.

6. **Sinchuk I.O., Kasatkina I.V., Baranovska M.L.** Usage of hydro-accumulating installations in the power supply system of mining companies. Computer Science, Information Technology and Automation – 2017, Вип . 6. – С.1-11.

7. **Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н.** Проблема использования возобновляемых источников энергии в ходе разработки месторождений твёрдых полезных ископаемых, Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2015, №1. С. 88-96.

8. **Сінчук О.М., Філіпп Ю.Б., Сінчук І.О., Касаткіна І.В., Бобріков І.О., Краснопольський Р.І.** Створення оборотних гідроагрегатів ГАЕС в структурі систем енергопостачання залізрудних підприємств. **Международный научный журнал "ScienceRise"** Издатель: НПП ЧП «Технологический Центр» DOI: <http://dx.doi.org/10.15587/2313-8416>, SSN 2313-8416 (Online), ISSN 2313-6286 (Print), 2017, с. 29-36.

9. **Сінчук О.М., Сінчук І.О., Касаткіна І.В., Краснопольський Р.І.** Водовідливи залізрудних шахт та кар'єрів – база для створення гідроакumuлюючих електростанцій. International research and practice conference “Modern method, innovations, and experience of practical in the field of technical sciences”: Conference proceedings, December, 27-28 2017. Radom: Izdevnieciba “Baltija Publishing”, 2017. с.63-66.

10. **Сокол С.І.** Створення оборотних гідроагрегатів Дністровської ГАЕС для підвищення енергоефективності об'єднаної енергетичної системи України, С.І.Сокол, А.К.Царюк, О.Ю.Черкаський, О.О.Линник, Г.І.Іщенко, І.Г.Сирота, В.В.Галат, О.М.Вакуленко, Т.С.Іерусалімова/Під загальною редакцією члена-кореспондента НАН України, д.т.н., проф. Сокола Е.І. – Харків: - 2017, ФОП Панов А.М., 236 с. ISBN 978-617-7541-18-8.

Рукопис подано до редакції 18.04.2018

МОДЕЛЮВАННЯ СЕКЦІЇ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ ЗА ДОПОМОГОЮ СЕРЕДОВИЩА ПРОГРАМУВАННЯ PAC UNITY PRO XL

Мета. Метою даної роботи є створення моделі ділянки секції збагачувальної фабрики з метою моніторингу та контролю основних показників роботи технологічних механізмів та стану оброблюваного продукту на різних етапах операцій збагачення. Складність, інерційність, нестационарність та динамічність технологічних процесів, що відбуваються на збагачувальній фабриці, наявність складних зв'язків та рециклів між технологічними механізмами обумовлюють застосування нестандартного підходу для створення моделі секції, а саме розглядання моделі з точки зору застосування програмованих логічних контролерів і, відповідно, використання для створення моделі середовища програмування PAC.

Методи дослідження. Підтверджено можливість застосування нетрадиційного програмного середовища для моделювання роботи секції збагачувальної фабрики. У той час коли для створення моделі об'єкту керування зазвичай використовуються пакети чисто математичного характеру, як Matlab, Mathcad, LabVIEW, дана стаття розглядає можливість застосування для поставленої мети середовища для програмування PAC, а саме Unity Pro XL фірми Schneider Electric.

Наукова новизна. Розв'язання поставленої задачі складає актуальність роботи. Її метою є створення моделі секції фабрики збагачення залізної руди з ціллю контролю основних показників роботи технологічних агрегатів та стану пульпи на різних етапах збагачення.

Практична значимість. Обґрунтовано застосування середовища програмування PAC для створення моделі секції збагачувальної фабрики. Створено попередню спрощену модель об'єкту керування, що може бути модернізована і доповнена для створення системи керування технологічним процесом з урахуванням більшої кількості параметрів управління.

Результати. Розроблена модель дозволяє контролювати найважливіші параметри перебігу збагачувальних процесів та стану оброблюваного продукту. Прив'язка значень цих параметрів до значень змінних у PAC дозволить у реальних умовах простіше реалізувати підключення реального обладнання до математичної моделі в ПК. При створенні моделі враховувалися лише найголовніші параметри, які найлегше вимірювати та контролювати у реальних умовах, тому модель є спрощеною. Напрямок подальших досліджень є удосконалення моделі моніторингу та перетворення її у повноцінну модель системи керування.

Ключові слова: збагачення, залізна руда, автоматизація, моделювання, PAC, Unity Pro XL.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-164-168

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сьогодні основною метою виробництва є зниження собівартості продукції. Комплексна оптимізація автоматизованого управління, використання сучасних підходів та новітнього обладнання можуть збільшити на виробництві показники його енергоефективності та економічні показники.

Збагачувальна фабрика містить різні технологічні механізми, їх принципи управління вимагають знання фізичних умов і властивостей роботи механізмів, різного обладнання та точних розрахунків. Крім того, вони взаємопов'язані і мають безпосередній вплив на спільну роботу один одного - неефективна робота з технологічним механізмом призводить до неефективної роботи з наступними механізмами. Аналіз результатів використання класичних методів автоматизованого управління показав, що в більшості випадків акцент робиться на контролі окремих механізмів з припущенням, що інші працюють у відповідності з нормою. Управління секцією збагачувальної фабрики, як правило, дозволить повністю охопити весь процес, проаналізувати технологічні зв'язки між механізмами та їх вплив на загальну роботу секції [1-3].

Аналіз досліджень та публікацій. Для вирішення завдань дослідження процесів збагачення залізної руди в цілому необхідно створити загальну модель системи управління, яка повинна безперервно визначати та контролювати характеристики об'єкта управління, використовуючи зворотний зв'язок при наявності надійної автоматизованої інформаційної системи. Управління такими системами завжди відбувається в умовах фундаментальної невизначеності щодо розвитку і неповного спостереження. Побудова формальних моделей для більшості процесів збагачувальної фабрики виглядає досить складною.

Саме тому для створення моделі системи керування секцією збагачувальної фабрики необхідно вирішувати складні завдання ієрархічно та поступово. Таким чином, перш ніж створюва-

ти модель системи керування доцільно побудувати модель моніторингу та діагностування та протестувати її на існуючих параметрах і тільки у випадку успішно працюючих зв'язків між змодельованими технологічними механізмами та адекватності отриманих результатів слід переходити до створення безпосередньо моделювання керування.

Більшість параметрів роботи технологічних механізмів секції збагачення складно виміряти, як і параметри оброблюваного продукту на різних операціях збагачення. Ці ж параметри, крім того, складно регулювати [4, 5]. Тому перш за все необхідно виділити першочергові параметри для моделі та перевірити їх працездатність і тільки після цього ускладнювати модель додаванням до неї інших значень. На базі досвіду закордонних та вітчизняних фахівців для попередньої моделі секції збагачення було обрано у якості вимірюваних параметрів потужності двигунів млинів та гідроциклонів, густини продуктів технологічних механізмів, їх продуктивності та вміст магнітного заліза у зливі мокрих магнітних сепараторів. Вибір керуючих впливів для перетворення системи моніторингу в систему керування є ще більш складним, так як більшістю механізмів у реальних умовах виробництва складно, а іноді і неможливо керувати (наприклад, змінюючи частоту обертів барабану млина) [6-8]. Найбільш простим способом керування є регулювання об'єму технологічної води, що додається до живлення технологічних механізмів з метою контролю густини пульпи, тому для попередньої спрощеної моделі було обрано саме цей параметр з метою побудови залежностей між різними показниками роботи механізмів та стану оброблюваного продукту [9-11].

Постановка задачі. Метою дослідження обрано розробку моделі секції збагачення залізної руди застосовуючи середовище програмування PAC. Для досягнення вказаної мети були поставлені наступні задачі: обрати схему збагачення залізної руди та проаналізувати її; визначити конкретні вимірювані та керуючі параметри, що будуть вимірюватись; створити модель на базі математичних та логічних функцій з обмеженими можливостями по швидкодії та пам'яті PAC, трьох стадійної секції збагачення залізної руди з урахуванням вищевказаних задач.

Викладення матеріалу та результати. Для створення моделі роботи секції збагачення залізної руди було обрано середовище програмування Unity Pro XL фірми Schneider Electric. Створена модель базується на схемі збагачення, зображеній на рис. 1. Умовно вона поділяється на три стадії. У кожній стадії є власні особливості роботи і відповідно кожна з них містить різні технологічні механізми.

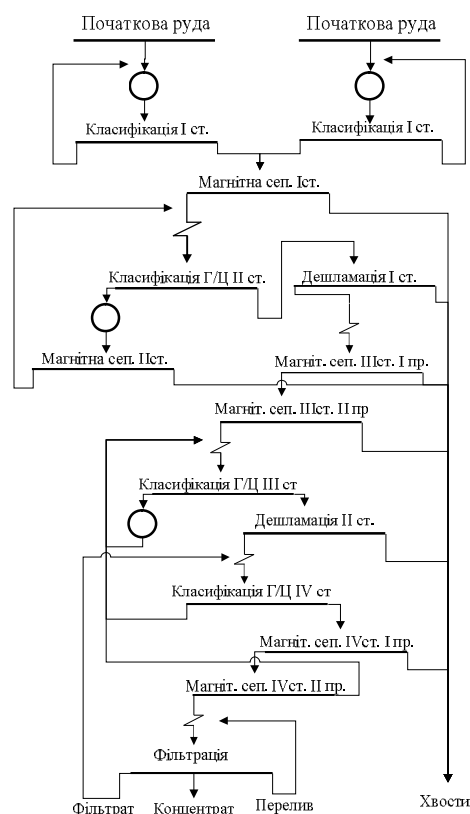


Рис. 1. Обрана схема секції збагачення залізної руди

Таким чином, перша стадія є стадією підготовки залізної руди до подальшої обробки і тому тут відбувається крупне подрібнення за допомогою замкненого циклу подрібнення-класифікації і відповідно присутні такі механізми, як млин, спіральний класифікатор та мокрий магнітний сепаратор. Друга стадія містить батарею гідроциклонів, мокрий магнітний сепаратор, млин та дешламатор. Третя стадія містить млин, мокрий магнітний сепаратор, дешламатор та дві батареї гідроциклонів, що працюють у складному рециклі (нижня частина рис. 1).

При моделюванні враховувалися параметри роботи технологічних механізмів та пульпи на різних етапах обробки, які можна найлегше виміряти у реальних умовах та мають кореляційний зв'язок з керуючими впливами, а саме – потужності двигунів млинів та гідроциклонів; густини пульпи на виходах гідроциклонів, класифікатора, дешламаторів та сепараторів; вміст магнітного заліза у зливах мокрих магнітних сепараторів; продуктивності технологічних механізмів. У якості керуючого впливу розглянуто регулювання об'єму технологічної води, що додається до технологічних механізмів у процесі роботи.

У створеній моделі роботи секції збагачення залізної руди використано математичні та логічні функції Unity Pro XL, а для моделювання збурюючих впливів було використано функцію «рандом». Так як на сьогодні не існує дійсно реального рандомайзера, функції реалізації випадкових чисел базуються на різних математичних законах розподілу. У даному конкретному випадку використано нормальний розподіл випадкових чисел. У створеній моделі було виділено параметри різних продуктів механізмів на певних проміжках секції та керовані параметри механізмів для стабілізації збагачувальних процесів. Відповідно було створено змінні типу REAL (з плаваючою крапкою) для опису величин аналогової природи у реальному часі.

Для візуалізації спостереження за параметрами перебігу технологічного процесу створено Operator Screen у середовищі розробки. На ньому зображено стилізовану схему з'єднання технологічних механізмів у обраній секції збагачення з підписами та дані щодо параметрів кожного механізму, що змінюються у реальному часі. Розроблений Operator Screen зображено на рис. 2.

Як приклад розглянемо параметри роботи окремого механізму та можливості його керування. Як бачимо з рис. 1 та рис. 2 найскладніший рецикл знаходиться у третій стадії, а саме у живленні батареї гідроциклонів з умовним позначенням 3.1. Основним його живленням є пульпа з другої стадії збагачення – злив мокрого магнітного сепаратора, проте крім цього до живлення додаються піски батареї гідроциклонів 3.2 та власні піски гідроциклонів 3.1, змелені у замкненому циклі млином 3. У даній ситуації величина густини оброблюваної пульпи є значно чутливою до збурюючих впливів і її стабілізація або оптимізація згідно вимог керування є досить складною. Розглянемо як змінюються густини пісків та зливу батареї гідроциклонів залежно від змінних умов роботи моделі та при регулюванні об'єму технологічної води, що додається до зумпфа гідроциклонів.

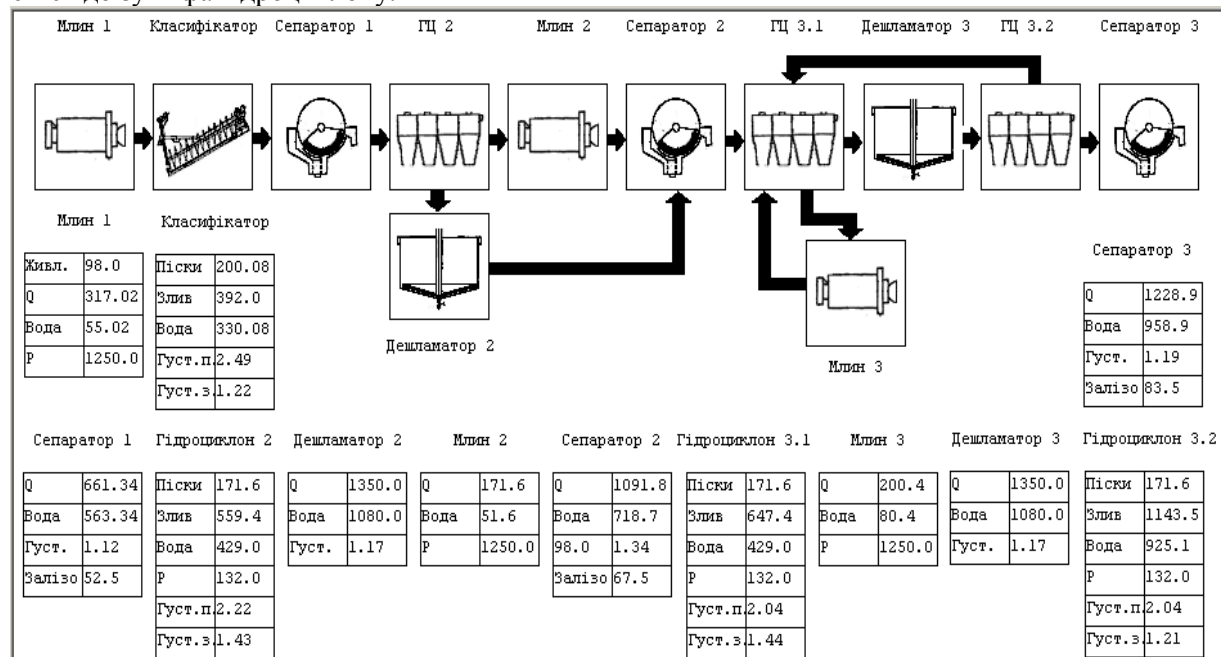


Рис. 2. Operator Screen розробленої моделі

Рис. 3 зображує фрагмент візуалізованого операторського екрану створеної моделі, що відображає характеристики роботи батареї гідроциклонів 3.1. У таблиці показано шість параметрів, а саме: продуктивності гідроциклонів за зливом та пісками (т/год); об'єм води, що додається до зумпфа (т/год); потужність двигуна гідроциклонів (кВт) та поточні густини зливу та пісків (т/м³). На рис. 3а зображено роботу батареї гідроциклонів у стабілізованому режимі, коли коливання характеристик живлення є незначним і сильно не впливає на показники роботи гідроциклонів. Рис. 3б ілюструє різке зменшення густини живлення, що відповідно при сталій продуктивності зменшує значення густин пісків та зливу. Рис. 3в показує як стабілізуються значення густин зливу та пісків шляхом зменшення об'єму води, що додається до зумпфа, а отже і підвищенням густини живлення.

a)		б)		в)	
Гідроциклон 3.1		Гідроциклон 3.1		Гідроциклон 3.1	
Піски	170.2	Піски	175.0	Піски	172.3
Злив	648.8	Злив	644.8	Злив	647.8
Вода	430.0	Вода	430.0	Вода	355.0
P	132.0	P	132.7	P	132.6
Густ.п.	2.08	Густ.п.	1.84	Густ.п.	2.05
Густ.з.	1.39	Густ.з.	1.14	Густ.з.	1.41

Рис. 3. Фрагмент операторського екрану для батареї гідроциклонів: *а* - стабільні показники роботи батареї гідроциклонів 3.1 без значних збурюючих впливів; *б* - показники роботи батареї гідроциклонів при зменшеній густині живлення, але сталій продуктивності; *в* - показники роботи батареї гідроциклонів при зміненому значенні регулюючого впливу – об'єму води

Висновки та напрямки подальших досліджень. Створена модель секції збагачення залізної руди дозволяє здійснювати моніторинг роботи технологічних механізмів та стану пульпи на різних ділянках секції збагачення у реальному часі. Система у першому наближенні враховує лише ті параметри роботи технологічних механізмів та стану пульпи, які найлегше виміряти та мають явну кореляційну залежність. У якості керуючих впливів на даному етапі обрано регулювання об'єму технологічної води, що додається до технологічних механізмів з метою зміни густини пульпи у різних збагачувальних операціях.

Дана модель передбачає візуалізацію процесу та моніторинг основних його параметрів вимірювати і закладає умови для подальшого перетворення моделі секції збагачення залізної руди у моделі системи керування цією секцією.

Напрямок подальших досліджень є детальніше дослідження можливостей моделювання контрольованих параметрів та регулюючих впливів збагачувальних процесів та удосконалення існуючої моделі додаванням до неї цих параметрів.

Список літератури

1. Morkun V. Optimization of the second and third stages of grinding based on fuzzy control algorithms / V. Morkun, O. Savytskyi, M. Tymoshenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №8. – P. 22–25.
2. Кондратець В.О. Обґрунтування системи комп'ютерної ідентифікації та регулювання розрідження пульпи у кульових млинах з циркулюючим навантаженням / В.О. Кондратець, О.М. Сербул // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2013. – Вип. 34. – С.45-50
3. Танатар А.И. Элементы промышленной автоматизации и их динамические свойства / Танатар А.И. - К.: Техніка, 1975.- 232 с.
4. Sbarbaro D. Advanced control and supervision of mineral processing plants / D. Sbarbaro, R. del Villar., 2010. – 311 p.
5. Кондратець В.О. Ідентифікація розрідження пульпи у млині, що подрібнює піски класифікатора з додатковою рудою / В.О. Кондратець // Вестник Херсонского нац. техн. ун-та. - 2014. - №3 (50). - С.305-310.
6. Бусленко Н.П. Математическое моделирование производственных процессов на цифровых вычислительных машинах / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1984. – 362 с.
7. Кочура Е.В. Моделирование и оптимизация управления качеством железорудного концентрата / Е.В. Кочура, А.Н. Марюга, В.С. Голод // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 1981. – №11. – С. 127-131
8. Пупена О.М., Ельперін І.В. Програмування промислових контролерів у середовищі Unity Pro: Навч. Посібник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2013. – 376 с.
9. John, Karl-Heinz IEC 61131-3: programming industrial automation systems: concepts and programming languages, requirements for programming systems, aids to decision-making tools / karl-Heinz John, Michael Tiegelkamp, p.cm Springer-Verlag Berlin Heidelberg – 2001, p. 350.
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. Petruzella, Frank D. Programmable logic controllers / Franf D. Petruzella. – 4th ed. 2011, 396 p.
12. Деменков Н.П. нечеткое управление в технических системах: Учеб. Пособие / Н.П. Деменков; М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 200 с.
13. Bolton W. Programmable logic controllers. Fourth edition / W. Bolton, 290 p.
14. Bryan, L.A. Programmable controllers: theory and implementation / L.A. Bryan, F.A. Bryan.-2nd ed. p. cm. 1047.
15. Хан Г. А. Автоматизация обогатительных фабрик / Г. А. Хан, В. П. Каргушин, Л. В. Сорокер, Д. А. Скрипчак. – М.: Недра, 1974. – 280 с.

Рукопис подано до редакції 18.04.2018

О.О. ВУСИК, аспірант, А.М. ПИЖИК, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗВИБУХОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДПРАЦЮВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ПРИ ВИКОРИСТАННІ КОМБАЙНІВ ФРЕЗЕРНОГО ТИПУ В УМОВАХ РОЗРОБКИ ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРІВ

Мета. Обґрунтувати можливість використання безвибухової технології пошарового фрезерування напівскельних і скельних гірських порід фрезерними комбайнами на залізорудних кар'єрах.

Методи дослідження. Комплексний аналіз теоретичної і практичної ефективності застосування комбайнів фрезерного типу для реалізації безвибухової технології ведення відкритих гірничих робіт. Аналіз перспективи переозброєння залізорудних кар'єрів сучасними високопродуктивними машинами пошарового фрезерування. Аналіз особливостей відпрацювання породного масиву комбайнами фрезерного типу без використання буро-вибухових робіт з урахуванням фізико-механічних властивостей порід.

Наукова новизна. Розширення області застосування кар'єрних комбайнів визначається встановленими взаємозв'язками між технологічними параметрами роботи комбайнів фрезерного типу і параметрами елементів системи розробки родовищ корисних копалин в діючих складних умовах відпрацювання залізорудних покладів. Підвищення техніко-економічних показників роботи кар'єру за рахунок раціонального використання кар'єрних комбайнів фрезерного типу у комплексі технологічних процесів сучасних гірничодобувних підприємств.

Практична значимість. Використання гірничих комбайнів в діючій технології відкритої розробки напівскельних і скельних порід витісняє технологічний процес підготовки порід до виймання вибухом. В умовах досягнення значної глибини відпрацювання порід, комбайновим способом підвищується ефективність вилучення порід розкриття та збільшується активність робочої зони. Комбайни фрезерного типу добре себе рекомендують в складних гірничотехнічних та гірничо-геологічних умовах роботи глибоких залізорудних кар'єрах.

Результати. Встановлено, що подальше вивчення роботи комбайнів фрезерного типу в технологічних комплексах кар'єру, дасть можливість використовувати ефективну безвибухову розробку породного масиву. Завдяки удосконаленню критеріїв ефективної оцінки комбайнового способу відпрацювання гірських порід виникає можливість економічно доцільно адаптувати даний спосіб до умов діючої технології відкритої розробки. Обґрунтування оптимальних параметрів роботи гірничого обладнання та комбайнів пошарового фрезерування є важливою задачею, котра забезпечить злагоджену роботу кар'єру з підвищенням техніко-економічних показників гірничодобувного підприємства при відсутності буро-підривних робіт.

Ключові слова: масив, знеміцнення, фрезерний комбайн, технологічні процеси, безвибухова розробка.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-168-173

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На гірничодобувних підприємствах Кривбасу досягнуто значних глибин розробки залізорудної сировини, що сприяє погіршенню гірничотехнічних і гірничо-геологічних умов виконання гірничих робіт. Розробка залізорудних родовищ ведеться в умовах, коли розміри активних робочих зон обмежені, буро-підривні роботи проводяться на незначній відстані від житлових масивів і здійснюється використання морально застарілого гірничого обладнання. Зростання цін на енергоносії та підвищення вартості проведення буро-підривних робіт, також негативно впливають на техніко-економічні показники роботи залізорудних кар'єрів. Це все обумовлює перехід на безвибухову технологію розробки залізорудних покладів шляхом застосування сучасних фрезерних комбайнів.

В існуючих умовах роботи залізорудних кар'єрів особливо актуальними є напрямки розвитку гірничої промисловості такі, як комплексне освоєння мінеральних розробки залізорудних родовищ, підвищення продуктивності праці та покращення умов праці шляхом впровадження прогресивних та сучасних технологій, підвищення повноти видобутку гірських порід в контурах кар'єру, зниження енергоємності технологічних процесів гірничого виробництва і зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Сучасні високопродуктивні кар'єрні комбайни достатньо добре зарекомендували себе на закордонних просторах. Вони дозволяють вирішувати велику кількість нових технологічних рішень стосовно підходів до ведення розробки крутоспадних залізорудних покладів шляхом введення виймально-навантажувальних комбайнів фрезерного типу до технологічних комплексів кар'єру [1-3].

Аналіз досвіду експлуатації гірничих комбайнів фрезерного типу дає можливість зробити припущення стосовно того, що їх з достатньою ефективністю можна застосовувати на залізрудних кар'єрах, з метою відмовитись від буро-підричних робіт та зробити діючу технологію відкритих гірничих робіт чистішою в екологічному аспекті.

Аналіз досліджень і публікацій. При безвибуховій розробці порід на закордонних гірничовидобувних підприємствах широке розповсюдження отримали технологи пошарового фрезерування гірських порід, які відзначаються відносно низькою собівартістю їх розробки і високою продуктивністю при застосуванні кар'єрних комбайнів фрезерного типу.

Вони застосовуються при без вибуховій розробці різних видів корисних копалин з високими показниками їх роботи [4-6]. Найчастіше розробка напівскельних і скельних порід відбувається з проведенням буро-підричних робіт, що обумовлено продуктивністю кар'єру та забезпеченням потрібним об'ємом готових до виймання порід. Але вартість підготовки порід до виймання буро-підричними роботами тільки зростає і на даний момент вона складає приблизно 20 доларів за 1 м³ порід підготовлених вибухом, в деяких випадках ця цифра більша. Тому останнім часом цікавість до безвибухової розробки родовищ корисних копалин тільки зростає. Адже впровадження технології пошарового фрезерування напівскельних і скельних порід дозволяє підвищити безпечність ведення відкритих гірничих робіт, вирішити проблеми пов'язані із збільшенням кута відкосу бортів кар'єру та зменшити вартість розкривних робіт.

Вивчення безвибухового способу неможливе без попереднього дослідження і теоретичного обґрунтування технології механічного руйнування гірських порід про, що свідчить аналіз літературних джерел і проектних розробок. Великий вплив на ефективність відкритих гірничих робіт з використанням технології пошарового фрезерування породного масиву гірничими комбайнами має вивчення процесу руйнування порід робочим органом комбайна і його підтвердження закономірностями, а також обґрунтування ефективності нових та удосконалення діючих технологічних схем ведення розробки порід комбайновим способом.

Питанням удосконалення технології розробки родовищ корисних копалин та способів підготовки гірських порід до виймання присвячені значні роботи вчених, серед яких слід відзначити праці А.Ф. Суханова, Б.І. Воздвиженського, М.І. Куличихина, М.Г. Новожилова, В.С. Федорова, М.М. Протодьяконова, Б.Н. Тартаковського, Н.В. Новожилова, В.Г. Михайлова, П.І. Томакова, І.К. Наумова, А.М. Варшавського, А.Г. Шапаря, С.М. Бро та інших, у яких викладені теоретичні та прикладні питання застосування гірничого устаткування.

У відповідності до закордонної літератури, відпрацювання залізрудних покладів відбувається із використанням буро-підричних робіт, але в деяких випадках з допомогою комбайнів фрезерного типу. Отже, ідею застосування даного виймально-навантажувального обладнання на залізрудних кар'єрах слід вважати пріоритетним напрямком удосконалення технології відкритих гірничих робіт. Кар'єрні комбайни можуть відпрацьовувати залізрудні породи значної міцності в залежності від їх абразивності. З кожним роком область застосування комбайнового способу зростає за рахунок все більшого подолання показника на одноосьове стиснення породи шляхом покращення різців і тим самим удосконалення робочого органу фрезерного комбайну (рис. 1). Його робочий орган представляє собою шнековий барабан, котрий озброєний штирковими різцями вздовж гвинтової лінії, а різці мають армовані вставки з кобальт-вольфрамового дуже твердого спеціального сплаву. На практиці кар'єрні комбайни фрезерного типу при експлуатації відзначаються своїми достатньо потужними фрезами з високою швидкістю обертання, що дозволяє знеміцнювати напівскельні і скельні гірські породи використовуючи дію власної ваги для здійснення зусилля на робочий орган.

Розробка родовищ корисних копалин з використанням технології пошарового фрезерування кар'єрними комбайнами, являється конкурентоспроможною альтернативою традиційній розробці породного масиву порід значної міцності з проведенням буро-підричних робіт. Завдяки цьому пояснюється її широке розповсюдження, так як розробка комбайновим способом характеризується позитивним підвищенням показників продуктивності й економічності та зменшенням негативних показників екологічності із забезпеченням значної безпеки проведення відкритих гірничих робіт [7-10].



Рис. 1. Робочий орган фрезерного комбайна

Результати досліджень зводяться до того, що застосування механічного способу підготовки гірських порід до виймання має можливість досягати високої ефективності в породах невисокої і середньої міцності. Але на сьогоднішній час показники, які враховувались для визначення доцільності використання того чи іншого способу змінились на користь механічного способу підготовки порід до виймання.

Аналіз досвіду відпрацювання гірського масиву виймально-навантажувальними комбайнами фрезерного типу вказують на обмежену ефективність даної технології при відкритій розробці родовищ. В ній закладені значні переваги у порівнянні з буро-вибуховим способом підготовки порід

до виймання. Поряд з цим для її ефективного використання слід розв'язати комплекс питань стосовно її адаптації до гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов, що склалися у сучасних діючих кар'єрах при розробці крутоспадних родовищ [11, 12]. Одним з напрямків вирішення даного питання є освоєння безвибухового способу розробки гірських порід із застосуванням виймально-навантажувальних комбайнів фрезерного типу. Останнє десятиліття проводяться наукові дослідження в напрямку механічного руйнування породного масиву з впровадженням у виробництво досягнутих результатів у вигляді рекомендацій і технологічних рішень.

Основна частина наукових робіт присвячена дослідженню і обґрунтуванню технології пошарового фрезерування із застосуванням кар'єрних комбайнів, впровадження котрої забезпечує значне підвищення техніко-економічних показників гірничовидобувних підприємств. Враховуючи їх роботи питанню ефективного застосування безвибухової технології пошарового фрезерування приділено не достатньо уваги, тому дана технологія потребує детальнішого вивчення для розробки рекомендацій її застосування в умовах роботи залізрудних кар'єрів.

Постановка задачі. Дослідити і розробити нові технологічні рішення із застосуванням сучасної високопродуктивної техніки, які направлені на удосконалення ведення розробки на глибоких кар'єрах відпрацювання з метою розширення області застосування технології пошарового фрезерування, покращити техніко-економічні показники гірничодобувного підприємства із зменшенням негативного впливу на навколишнє середовище.

Робота присвячена обґрунтуванню ефективності застосування технології пошарового фрезерування породного масиву кар'єрними комбайнами при відпрацюванні гірських порід значної міцності.

Аналіз досвіду експлуатації комбайнів фрезерного типу свідчить про необхідність достатній розмірів робочих площадок для ефективності розробки родовищ корисних копалин. Це дійсно так у випадку коли параметри елементів системи розробки родовищ відповідають комбайновому способі розробки порід, так як комбайном виконувалося розкриття родовища і формування всіх необхідних йому розмірів гірничих виробок. Зрозумілим є те, що застосування сучасного високопродуктивного виймально-навантажувального обладнання в умовах коли параметри елементів системи розробки родовищ сформовані під кар'єрні екскаватори, ефективність роботи фрезерних комбайнів в початок адаптації буде нижчою від необхідної. Коли вже буде здійснена адаптація гірничих комбайнів в умови роботи залізрудного кар'єру, показники роботи комбайнів будуть поступово зростати при цьому стабілізуючи та підвищуючи техніко-економічні показники роботи гірничовидобувного підприємства. Тому сучасні залізрудні кар'єри потребують вивчення і впровадження нових підходів та технологічних рішень у вигляді рекомендацій і реалізації наукових результатів, що дозволяють відмовитись від проведення буро-підричних робіт та перейти на якісно новий рівень ведення відкритих гірничих робіт.

Кар'єрний комбайн в роботі з автотранспортним засобом досягає значної інтенсифікації ведення гірських робіт, що пояснюється їх мобільністю та тісним взаємозв'язком технологічних параметрів. При комбайновому способі розробки породного масиву спостерігається хороший рівень подрібнення породи при чому розмір шматка знеміцненої породи не перевищує 300 мм з повною відсутністю виходу негабариту (рис. 2). Такий гранулометричний склад сприяє

рівномірному і повному наповненню транспортного засобу. При безвибуховій розробці виникає проблема пов'язана з відсутністю наукових і практичних обґрунтувань розробки гірських порід, але в останні роки дана технологія набуває усе більшої цікавості в Україні. На сьогоднішній час реальний стан вивчення і вирішення даної проблеми перебуває на низькому рівні. Враховуючи наукові дослідження у цьому напрямку, можна забезпечити вирішення багатьох проблем, пов'язаних із виконанням буро-підривних робіт.

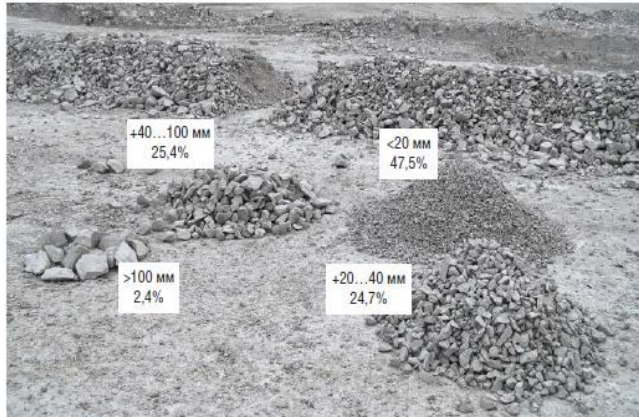


Рис. 2. Вихід фракції вапняку, вилученого комбайном при робочій швидкості близько 8 м/хв

Вищенаведені роботи наукових розробок на жаль дотепер залишаються недопрацьованими та висвітлюють різні вектори розгляду даної проблеми. Аналіз результатів теоретичної і експериментальної практики застосування технології пошарового фрезерування на кар'єрах свідчить про можливість зробити припущення, що традиційний спосіб характеризується низькою ефективністю застосування вибухових речовин та призводить до небезпечності проведення вибуху через досягнення значної глибини відпрацювання покладу.

Викладання матеріалу та результатів.

Вирішення поставлених завдань виконується з врахуванням теоретичних узагальнень практичного досвіду традиційної та безвибухової розробки породного масиву. Ефективність застосування кар'єрних комбайнів залежить від правильності їх вибору і визначення їх продуктивності. Саме продуктивність комбайна впливає на техніко-економічні показники ведення гірничих робіт та на раціональні параметри елементів системи розробки родовищ корисних копалин. Визначення технічної продуктивності кар'єрного комбайна фрезерного типу використовується наступна формула, м³/год

$$Q_{mex} = V_k B h,$$

де V_k – робоча швидкість комбайну, м/год; B – ширина проходу комбайну, яка відповідає довжині барабану комбайну, м; h – глибина фрезерування шару порід, м.

Параметр h встановлюється в залежності фізико-механічних властивостей порід і необхідного розміру шматка подрібненої породи.

Параметр B визначається в залежності від типорозмірів фрезерного комбайна і необхідної швидкості відпрацювання блоку породного масиву. При збільшенні цього показника зменшуються витрати часу на здійснення відпрацювання породного масиву і виконання маневрування.

Визначення експлуатаційної продуктивності комбайна пошарового фрезерування при човниковій схемі руху з поворотом і фрезеруванням в протилежному напрямку, виконується за наступною формулою, м³/год

$$Q_{екс} = 60 V_k B h K_{вик},$$

де $K_{вик}$ – коефіцієнт використання фрезерного комбайна (0,85÷0,95).

Підставивши відповідно значення $V_k = 5$ м/хв, $B = 4,2$ м, $h = 0,3$ м, $K_{вик} = 0,9$ у формулу, отримаємо наступне значення продуктивності комбайна, м³/год.

$$Q_{екс} = 60 \cdot 5 \cdot 4,2 \cdot 0,3 \cdot 0,9 = 340,2.$$

На основі отриманих даних будуємо графік (рис. 3) залежності експлуатаційної продуктивності комбайна пошарового фрезерування ($Q_{екс}$) від глибини фрезерування шару порід (h), можна зробити висновок, що зі збільшенням глибини фрезерування, відповідно зростає продуктивність комбайна. Але в експлуатаційних умовах спостерігається те, що зі збільшенням глибини фрезерування порід продуктивність дійсно зростає до певного моменту, а потім знижується. Це пов'язано з показником одноосного стиснення порід, який являється важливим для отримання дійсних показників їх роботи.

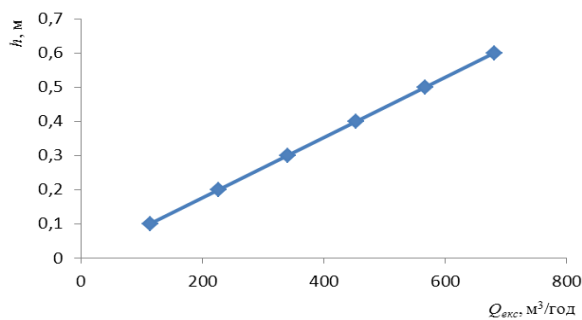


Рис. 3. Графік залежності експлуатаційної продуктивності комбайна пошарового фрезерування ($Q_{екс}$) від глибини фрезерування шару порід (h)

маємо наступне значення змінної продуктивності комбайна, м³/зм.

$$Q_{зм} = 12 \cdot 340,2 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,95 = 2792,36.$$

Річна продуктивність фрезерного комбайна визначається за формулою, м³/рік

$$Q_{річ} = Q_{зм} N_{зм} N_{дн},$$

де $N_{зм}$ – кількість змін на добу, $N_{дн}$ – кількість робочих днів на рік.

Підставивши відповідні значення отримаємо річну продуктивність, м³/рік

$$Q_{річ} = 2792,36 \cdot 2 \cdot 355 = 19825756.$$

Визначивши річну продуктивність комбайна і знаючи виробничу потужність залізрудного кар'єру по розкривним породам можна визначити необхідну кількість комбайнів пошарового фрезерування, яка забезпечить злагоджену роботу кар'єру.

В основному в області можливого та ефективного застосування безвибухової технології пошарового фрезерування гірських порід немає достатньої обґрунтованості не лише технологічних схем роботи комбайнів в комплексі технологічних процесів кар'єру, але і комплексного освоєння даної технології із застосуванням комбайнового способу відпрацювання гірських порід, через відсутність комплексного підходу вирішення цих питань.

Висновки. Отже, застосування комбайнів фрезерного типу підвищує ефективність розробки залізрудних покладів за рахунок їх трансформації в технологічних комплексах кар'єру. При переході на безвибухову технологію відпрацювання крутоспадного родовища стає можливим підвищити техніко-економічні показники роботи гірничодобувного підприємства. Технологія пошарового фрезерування породного масиву із застосуванням комбайнів фрезерного типу, набуває розширення області застосування і потребує обґрунтування оптимальних параметрів різних технологічних схем видобутку гірських порід комбайновим способом. Але для оцінки детальнішої можливості впровадження безвибухового відпрацювання покладів в умовах залізрудних кар'єрів, потрібне подальше вивчення взаємозв'язків запропонованого виймально-навантажувального обладнання і параметрів елементів системи розробки родовищ. Для цього необхідний більш глибокий системний аналіз і розробка адекватних математичних моделей, котрі дозволять оцінити економічну доцільність і ефективність розробки та адаптації безвибухової технології розробки залізрудного покладу фрезерними комбайнами.

Надалі наступним кроком дослідження являється вибір оцінки ефективності застосування технології пошарового фрезерування порід гірничими комбайнами та дослідження показників їх роботи до максимально приближених умовах залізрудних кар'єрів.

Список літератури

1. **Магтис А.Р.** Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых / **А.Р. Магтис** и др.; отв. ред. В.Н. Опарин. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 337 с.
2. Wirtgen surface mining for selective limestone mining in the North Caucasus. Russia // *Zement-Kalk-Gips Int.* – 2014. – 67. – № 10. – Р. 18 – 19.
3. **Чебан А.Ю.** Совершенствование технологий открытой разработки месторождений с использованием карьерных комбайнов и отвалообразователей / **А.Ю. Чебан** // *Записки горного института.* – 2015. – Т. 214. – С. 23 – 27.

4. Ввод в эксплуатацию комбайна Wirtgen 2200SM на ОАО «Ковровское карьероуправление» / **М. Пихлер** и др. // Горная промышленность. – 2013. – № 2. – С. 110 – 116.
5. **Швабенланд Е.Е.** О потенциале фрезерных комбайнов непрерывного действия при разработке месторождений открытым способом / **Е.Е. Швабенланд** // Рациональное освоение недр. – 2014. – № 1. – С. 54 – 60.
6. **Чебан А.Ю.** Селективная разработка Эльгинского угольного месторождения с применением выемочно-сортировочного комплекса / **А.Ю. Чебан** // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2017. – № 4. – С. 247 – 254.
7. **Чебан А.Ю.** Классификация технологических схем применения карьерных комбайнов // Системы. Методы. Технологии. 2015. №2. С. 159–163.
8. Wirtgen surface mining for selective limestone mining in the North Caucasus // Russia. Zement-Kalk-Gips Int. 2014. vol. 67, no. 10, p. 18.
9. **Швабенланд Е.Е.** Применение послонно-порционной технологии добычи руды с использованием фрезерных комбайнов для рационального и комплексного освоения недр // Разведка и охрана недр. 2017. №2. С. 38–42.
10. **Drebenshtedt K., Pessler C.** Calculation methods for mining machines. Materials of the international conference «Forum of miners – 2006». – D: National mining University, 2006, pp. 26–32.
11. **Вусик О.О., Пижик А.М.** Аналіз і перспективи застосування кар'єрних комбайнів для розробки гірських порід при безвибуховій технології їх відпрацювання / **О.О. Вусик, А.М. Пижик, Н.О. Голівер** // Іноземна мова як засіб мобільності майбутніх фахівців: міжн. наук.-прак. конф. – Кривий Ріг, 2017 – С. 204-205.
12. **Вусик О.О.** Застосування технології пошарового фрезерування кар'єрними комбайнами при розробці крупноспадних залізородних покладів / **О.О. Вусик** // Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі: II міжн. наук.-техн. інтер.-конф. – Кривий Ріг, 2017 – С. 19

Рукопис подано до редакції 19.04.2018

УДК 622.647.2

Л.І. ЄФІМЕНКО, М.П. ТИХАНСЬКИЙ, кандидати техн. наук, доценти,
А.М. ТИХАНСЬКА, асистент, Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА СТАВ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНВЕЄРА ВІД ШВИДКОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ

Мета. Визначення навантаження на став автоматизованого конвеєра від швидкості транспортування шляхом врахування динаміки перехідних процесів і динамічних навантажень від дії крупних кусків вантажу, а також можливості зменшення навантажень на конструкції шляхом управління режимами транспортування, а саме швидкістю стрічки.

Методи дослідження. Для вирішення цього завдання використано: аналіз літературних і патентних джерел, наукове узагальнення раніше виконаних досліджень; методи розроблені в механіці, теорії пружності; методи обробки випадкових процесів і математичної статистики; а також методи теорії автоматичного управління.

Наукова новизна. Одержано розрахункові значення коефіцієнта динамічності для кусків різної маси при зміні швидкості транспортування. Розрахована величина імпульсного удару куском транспортованого матеріалу по жорсткій роликоопорі. Таким чином видно, що коефіцієнт динамічності також залежить від маси куска.

Практична значимість. Ефективність використання стрічкових конвеєрів пов'язана із зниженням металоємності конвеєрного ставу, що є основним елементом, що визначає загальну металоємність конвеєра. Металоємність знижується шляхом розрахунку навантаження на став автоматизованого конвеєра з врахуванням динаміки перехідних процесів і динамічних навантажень від дії крупних кусків вантажу, а також можливості зменшення навантажень на конструкції шляхом управління режимами транспортування, а саме швидкістю стрічки.

Використання автоматизованого регульованого приводу надало додаткові можливості для підвищення ефективності використання стрічкових конвеєрів шляхом зниження металоємності, оскільки гарантоване зниження динамічної дії приводу і крупних кусків вантажу на опорні конструкції дозволяє знизити їх металоємність.

Результати. Визначили розрахункові значення коефіцієнта динамічності для кусків різної маси при зміні швидкості транспортування. При регулюванні швидкості по вантажопотоку навантаження від потоку на елементи ставу зменшується, що дає змогу вибрати конструктивні елементи меншої металоємності

Ключові слова: стрічковий конвеєр, вантажопотік, навантаження опорних конструкцій, динамічне навантаження, коефіцієнт динамічності, автоматична система керування.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-173-178

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. До сучасних металоконструкцій лінійної частини конвеєра, а саме, конвеєрному ставу та роликкоопор пред'являється ряд вимог по міцності, амортизуючій здібності при динамічних навантаженнях, стійкості, мінімальній металоємності, довговічності. Аналіз розрахунків ряду підприємств і науково-дослідних організацій показав, що існуючі методи проектування конвеєрного ставу не повною мірою враховують дійсну картину його навантаження та можливості зниження навантаження за рахунок автоматичного керування режимами роботи конвеєрної установки, а саме, швидкістю транспортування вантажу.

Аналіз досліджень та публікацій. Питаннями оптимізації металоконструкцій ставу стрічкового конвеєра займався ряд вітчизняних вчених [1-5, 14]. Аналіз розрахунків ряду заводів виробників, проектних організацій та НДІ (УкрНДПроект ІГТМ АН України) показав, що науково-дослідні інститути працюють, в основному, над створенням нових типів конструкцій, а існуючі методи проектування підтримуючих конструкцій конвеєрної стрічки не повною мірою враховують дійсне його навантаження. В деяких методиках науково – дослідних інститутів додатково враховується, відповідно, частота власних коливань секції і внецентрове додаткове навантаження від потоку гірської маси [5-7]. У роботі [8, 9, 15] автор запропонував уточнений науково-обґрунтований метод розрахунку металоконструкцій стрічкового конвеєра з перевіркою полегшеного ставу на стійкість, що надає можливість більш раціонального його проектування.

Загальним недоліком розглянутих методів проектуванні є те, що при визначенні навантажень на став беруться статичні складові, не враховується динаміка перехідних процесів і динамічні навантаження від дії крупних кусків вантажу, не використовуються можливості зменшення навантажень на конструкції шляхом управління режимами транспортування, а саме швидкістю стрічки.

Постановка завдання. Відомо, що оцінка навантажень на елементи конвеєрного ставу при транспортуванні крупнокускового вантажу в основному, виконувалася за допомогою коефіцієнта динамічності для насипного вантажу і крупних кусків, які йдуть один за одним при постійній швидкості транспортування. Впровадження регульованого приводу із змінною швидкістю транспортування викликає необхідність додаткових досліджень, як в частині насипного вантажу, так і при проходженні окремих кусків.

З'являється необхідність враховувати вплив тягового зусилля на навантаження опорних конструкцій, як в сталому режимі, так і в момент пуску.

Навантаження на став від коливань, викликаних дією стрічки з вантажем, роликами і крупними кусками, в сталому режимі і в момент пуску, не враховувалися. Облік вказаних чинників дозволить точніше визначити навантаження, понизити запаси міцності елементів конструкцій, як для конвеєрів з постійною швидкістю транспортування, так і для гнучкого автоматизованого виробництва з регульованим приводом.

Викладення матеріалу та результати. Транспортування потоку крупнокускової гірської маси передбачає можливість різного розташування куска в потоці більш дрібних фракцій матеріалу: великі куски вантажу можуть слідувати один за одним через деякі інтервали, чергуючись з порціями насипного вантажу, куски можуть лежати на стрічці, охоплені більш дрібним вантажем або лежати на підсипці [5, 7, 10, 11]. При цьому найбільш важким для опорних конструкцій є перший випадок. При зустрічі куска вантажу з роликкооперами відбувається імпульсна і ударна взаємодія. Сутність імпульсної взаємодії визначена в [12] і полягає в зміні впливу куска на роликкоопору в момент входу на ролик. Навантаження із розподіленого стає зосередженим на місці зіткнення куска і ролика. Різницею деформацій і визначається динаміка взаємодії куска з роликом. Ударна взаємодія виникає через розбіжність векторів швидкості куска і стрічки при підході до роликів. Механізм цієї взаємодії досліджувався рядом авторів [11-13]. Для визначення ударного імпульсу при ударі зосередженого навантаження (куска) об роликкоопору можна скористатися відомою формулою

$$P_1 = m_{кз} V \sin(\theta_2 - \theta_1)(1+k), \quad (1)$$

де $m_{кз}$ - маса куска, кг; V – швидкість руху стрічки, м/с; θ_1 - кут нахилу дотичної до кривої прогину в точці набігання стрічки на ролик відносно осі X , град; θ_2 - кут між напрямком швидкості руху куска після удару о ролик і віссю X , град; k_1 - коефіцієнт відновлення при ударі о жорстку роликкоопору ($k_1 = 0,5$).

У літературі [9, 10] широко дано математичний опис крупнокускового потоку. При цьому використані методи теорії ймовірності та математичної статистики для визначення інтенсивності потоку i -ої фракції, розподілу базових кусків фракції за часом і по довжині конвеєра. Середня інтенсивність вантажопотоку i -ої фракції визначається за відомою формулою

$$\bar{n}_{it} = \delta_i \theta_\gamma \ell_{ki} m_\delta^{-1} V^{-1}, \quad (2)$$

де δ_i - дольова участь даної фракції в загальній масі; θ_γ - середня продуктивність вантажопотоку, m^3/c ; γ - об'ємна маса, kg/m^3 ; m_δ - маса базового куска даної фракції, kg ; ℓ_{ki} - ділянка кінцевої довжини між кусками, m ; V – швидкість транспортування, m/c .

У роботі [11] автор показує, що розподіл базових кусків по довжині або часу підкоряється експоненціальному закону, а формування послідовності викиду базових кусків по часу представляє

$$\Delta t_j = 2,3026 \lg(1 - \eta_j) \bar{n}^{-1}, \quad (3)$$

де η_j - закон розподілу $F(\eta_j)$ або число виду

$$\eta_j = j \cdot 10^{-2} \quad (j = 1, 2, \dots, 10^4).$$

Враховуючи, що $\ell_{ki} = V \cdot \Delta t$, запишемо

$$\ell_{ki} = 2,3026 \lg(1 - \eta_j) V \bar{n}^{-1}. \quad (4)$$

При розподілі кусків i -ої фракції порівняно з кроком роликкоопор, тобто $\ell_{ki} \approx \ell_p$, при якому куски однієї фракції одночасно стикаються з рядом роликкоопор, змінюємо швидкість транспортування гірської маси для одержання умови $\ell_{ki} \neq \ell_p$.

Куски, залишившись без підсіпки, збільшують динамічне навантаження на став конвеєра, з введенням регулювання швидкості по вантажопотоку, потік гірської маси ущільнюється, куски охоплюються більш дрібними фракціями. Відбувається перерозподіл кусків по стрічці. Відомо, що динамічний вплив великих фракцій, які перебувають у щільному потоці значно знижується. Отже, при регулюванні швидкості по вантажопотоку навантаження від потоку на елементи ставу зменшується. Крім того, від швидкості транспортування залежить коефіцієнт динамічності. Так, при зменшенні швидкості транспортування на 25% від номінальної при постійному вантажопотоці коефіцієнт динамічності зменшується в 1,47÷1,55 разів, при регулюванні швидкості на 50% від номінальної коефіцієнт динамічності зменшується в 2,1÷2,4 рази. При цьому коефіцієнт динамічності фракцій визначався як відношення сумарного впливу максимального куска даної фракції (статичне плюс імпульсно-ударне) до статичного впливу (табл.1, рис. 1) [12]

$$K_{ди} = 1 + P_{ди} / P_C. \quad (5)$$

У меншій мірі коефіцієнт динамічності залежить від розміру куска i -ої фракції. При збільшенні маси куска від 10 до 100 kg коефіцієнт динамічності збільшується на 25÷35% при швидкості транспортування 2,25 m/c , на 45÷60% при швидкості транспортування 4÷4,5 m/c (дані наведені для натягу конвеєрної стрічки 145,7 kH).

Таблиця 1
Розрахункові значення коефіцієнта динамічності для кусків різної маси при зміні швидкості транспортування

Маса максимального куска i -ої фракції	Швидкість транспортування, m/c			
	1,125	2,25	3,375	4,5
20	1,02	1,07	1,16	1,28
40	1,04	1,14	1,33	1,58
60	1,06	1,23	1,52	1,92
80	1,11	1,45	2,00	2,79
100	1,25	1,67	2,57	3,70

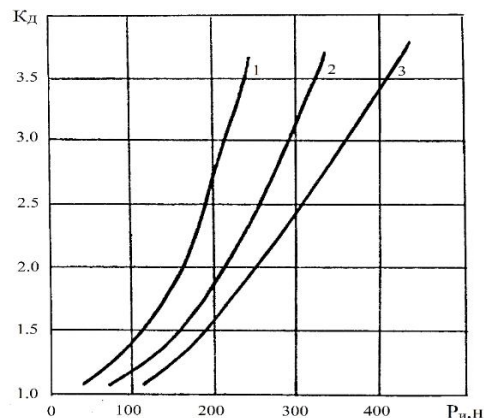


Рис. 1. Залежність коефіцієнта динамічності від величини імпульсного удару куском вантажу по роликкоопорі: 1 – при масі куска, яка дорівнює 60 kg ; 2 – $m=80kg$; 3 – $m=100kg$

Коефіцієнт динамічності отриманий при середньому натягу тягового органу 145,7 кН. Звідки випливає, що регулювання швидкості транспортування великих кусків гірничої маси без підсипки досить ефективно знижує динамічні навантаження на елементи ставу конвеєра. Так, при зміні швидкості транспортування на 25% (від номінальної до 75% V_H), величина імпульсного удару P_i куска по роликоопорі зменшується в 1,7-1,8 рази, незалежно від розміру куска, при зміні рівня швидкості на 50% (від номінальної до 75 % V_H) величина імпульсного удару зменшується в 4 рази. Зі збільшенням маси куска величина імпульсного удару зростає пропорційно збільшенню маси куска вантажу (табл. 2, рис. 2).

Таблиця 2

Величина імпульсного удару куском
транспортованого матеріалу по жорсткій роликоопорі

Швидкість транс- портування в % від	Маса куска, що транспортується, кг					Примітка
	10	20	30	40	50	
100	26,15	65,8	98,24	131,78	171,11	$V_H=4,5$ м/с
75	14,53	35,14	54,98	74,1	96,1	$V_H=3,375$ м/с
50	6,46	16,4	24,56	32,8	42,7	$V_H=2,25$ м/с
25	1,62	4,0	6,23	8,2	10,7	$V_H=1,125$ м/с

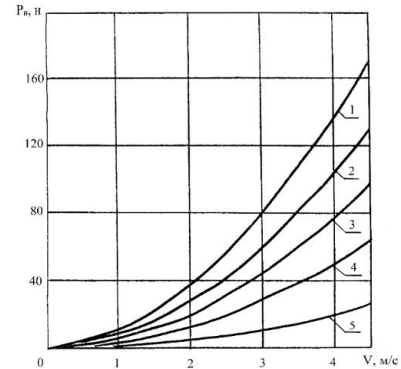


Рис. 2. Залежність величини імпульсного удару від швидкості транспортування при різній масі куска: 1 – $m=100$ кг; 2 – $m=80$ кг; 3 – $m=60$ кг; 4 – $m=40$ кг; 5 – $m=20$ кг

Таким чином видно, що коефіцієнт динамічності також залежить від маси куска (рис. 3, рис. 4). З рисунків видно, що при швидкості транспортування менше 2 м/с маса куска практично не впливає на коефіцієнт динамічності.

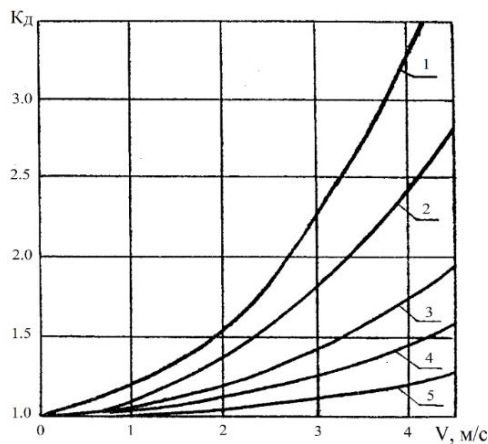


Рис. 3. Залежність коефіцієнта динамічності від маси куска при регулюванні швидкості транспортування гірської маси: 1 – $V=1$ м/с; 2 – $V=2,2$ м/с; 3 – $V=3,4$ м/с; 4 – $V=4,5$ м/с

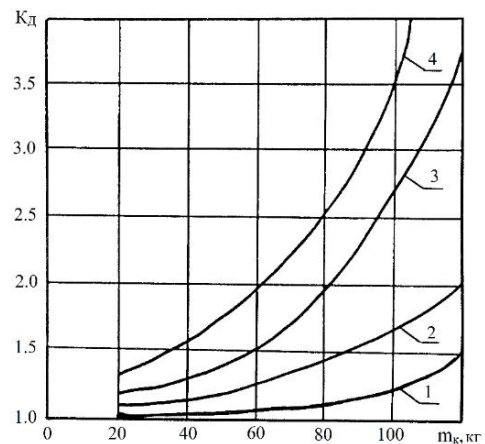


Рис. 4. Залежність коефіцієнта динамічності від швидкості транспортування при різній масі куска: 1 – $m=100$ кг; 2 – $m=80$ кг; 3 – $m=60$ кг; 4 – $m=40$ кг; 5 – $m=20$ кг

При цьому вважаємо, що ударний імпульс спрямований по нормалі до поверхні ролика в точці удару. Величина ж імпульсного удару зосередженого вантажу на роликоопорі визначається тривалістю дії ударного імпульсу. Тривалість удару в свою чергу залежить від довжини поверхні зіткнення куска з роликом і швидкості транспортування.

Таким чином, величина імпульсного удару визначиться виразом

$$P_H = m_{кз} V \sin(\theta_2 - \theta_1) (1+k) \tau^{-1}, \quad (6)$$

де τ - тривалість удару, с; $\tau = a/V$, a - довжина поверхні дотику великого куска з роликом під час удару, м. Тоді

$$P_H = m_{кз} V^2 \sin(\theta_2 - \theta_1) (1+k) a^{-1}. \quad (7)$$

Для визначення навантаження на підтримуючі конструкції має значення не тільки крупність кусків, але і їх кількість як на всій стрічці, так і в перетині роликоопори. Однак при підготовці гірської маси тим чи іншим способом гранулометричний склад її змінюється. В цьому випадку відносний вміст δ_{i6} i -ої фракції в гірській масі може бути визначено відомими способами.

Крім того, потік кусків характеризується інтервалом їх проходження ℓ_{ki} . Довжину інтервалів можна визначити з відомого виразу

$$\ell_{ki} = m_{kci}g / q\delta_i,$$

де m_{kci} – маса куска i -ої фракції, кг; q – середнє значення лінійної маси вантажопотоку, кг/м; δ_i – відносний вміст i -ої фракції у вихідній гірській масі.

У цьому інтервалі можуть перебувати куски будь-якої іншої фракції. Якщо інтервал проходження великих кусків i -ої фракції порівнюємо з кроком роликоопор, створюється ситуація, при якій куски i -ої фракції одночасно зіткаються з низкою роликоопор в секції, що викликає додаткові навантаження на став. У такому випадку навантаження на конструкцію ставу від одночасної взаємодії декількох кусків з роликооперами однієї секції ставу визначиться з виразу

$$P_{Hcm} = \sum_{i=1}^n P_{Hpo}, \quad (8)$$

де n – кількість роликоопор, що піддаються одночасному удару кусків з коефіцієнтом крупності k_{kp}^i .

Ці сумарні удари повторюватимуться через час, рівний

$$t = \ell_{ki} / V, \quad c, \quad \ell_{ki} \approx \ell_p.$$

Крім того, може виявитися, що в одному і тому ж перетині вантажопотоку розміщується декілька крупних кусків однієї або різних фракцій, що відбувається в разі несумірності інтервалу проходження куска i -ої фракції ℓ_{ki} з відстанню між роликооперами. Цей варіант вважається несприятливим для елементів ставу, оскільки величина імпульсного удару від кожного куска підсумовується, що може служити причиною аварійної ситуації.

Виходячи з умови однорідності матеріалу, що транспортується, ймовірність знаходження двох кусків в одному перетині визначається за відомою формулою:

$$P = 0,3025 k_{kp}^4, \quad (9)$$

де 0,3025 – коефіцієнт, залежний від розмірів вантажного бункера; k_{kp} – міра крупності великих кусків.

Проте, оскільки ця подія все ж має місце, розрахунки потрібно виконувати по ймовірно максимальному поєднанні в перетині кусків найбільшої фракції. В цьому випадку імпульсний удар по роликоопорі визначиться з виразу

$$P_{pn} = \sum_{i=1}^6 P_{ni}, \quad (10)$$

де v – кількість крупних кусків, які одночасно знаходяться в перетині роликоопори.

Якщо для спрощення прийняти, що в перетині поєднуються куски однієї фракції, то вираження прийме вигляд $P_{pn} = vP_n$.

Висновки та напрямок подальших досліджень. На відміну від раніше проведених досліджень, в пропонованій роботі динамічні характеристики опорних конструкцій оцінюються спільно з процесами, що виникають в конвеєрній стрічці, з величиною і характером тягового зусилля, що розвивається приводом.

Використання автоматизованого регульованого приводу надає додаткові можливості для підвищення ефективності використання стрічкових конвеєрів шляхом зниження металоємності, оскільки гарантоване зниження динамічної дії приводу і крупних кусків вантажу на опорні конструкції дозволяє знизити їх металоємність.

Для дослідження динамічних процесів, що відбуваються в конструкціях конвеєра, використовують динамічні моделі. При розробці моделей динамічного навантаження ставу конвеєра проводилися дослідження залежності навантаження від типу роликоопор, швидкості транспор-

тування і маси крупних кусків, давалися рекомендації по вибору типу роликкоопор і максимальної швидкості транспортування залежно від маси крупного куска.

Проте, питання, пов'язані із зниження навантажень на опорні конструкції і металоємності ставу за допомогою впровадження автоматизованого приводу, вимагають додаткового дослідження, оскільки вибір параметрів системи автоматичного управління конвеєром не передбачає розрахунку і введення гнучких зворотних зв'язків, що забезпечують обмеження динамічних навантажень на конструкції.

Список літератури

1. **Барышев А.И.** Расчеты и проектирование транспортных средств непрерывного действия / А. И. Барышев [и др.]. Под ред. В. А. Будишевского // Донецк: НордПресс, 2005. – 300 с.
2. **Биличенко Н.Л.** К вопросу совершенствования конвейерных ставов / Н.Л. Биличенко, В.Ф. Кучеренко, О.А. Бейгул // Подъемно-транспортные системы с применением конвейерного транспорта и АСУ: Материалы краткосрочного семинара, проведенного 29-30 ноября. – Л., 1997. – С. 59-62.
3. **Дмитриев В.Г.** Система автоматизированного расчета и оптимизации металлоконструкций става ленточного конвейера / В.Г. Дмитриев, П.Н. Егоров // Шахтный и карьерный транспорт. – М.: 1990. – с. 52-63.
4. **Шахмейстер Л.Г.** Определение оптимальных параметров линейных секций ленточного конвейера с подвесными роликкоопорами на накатном ставе / Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев, С.Д. Мягков, Нгуен Хью Киеп // Шахтный и карьерный транспорт – М.: Недра, 1994. – С. 26-30.
5. **Смирнов В.К.** О сопротивлениях движению конвейерной ленты по роликам / В.К. Смирнов, Г.К. Демин. // В кн. Теория машин и рабочих процессов. – Киев: Наук. Думка, 1977. – С.43-50.
6. **Дмитриев В.Г.** Исследование динамических нагрузок в роликкоопорах загрузочных и линейных секций ленточных конвейеров при транспортировании крупных кусков / В.Г. Дмитриев, В.И. Галкин // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1975. - №1. – С. 108-112.
7. **Волотковский В.С.** Испытания линейной части конвейерного поезда с ленточным грузонесущим полотном / В.С. Волотковский, Г.Д. Кармаев, А.В. Соболев // Шахтный и карьерный транспорт / Под. ред. А.О. Спиваковского. – М., 1994. – С. 239-244.
8. **Дмитриев В.Г.** Уравнение движения крупных кусков по ставу ленточного конвейера / В.Г. Дмитриев // Шахтный и карьерный транспорт. – М.: Недра, 1977. – С. 44-49.
9. **Ефименко Л.И.** Оценка влияния отдельных нагрузок действующих на формирование металлоемкости става ленточного конвейера / Л.И. Ефименко, М.П. Тиханский // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. - 2013.- Вип.33. - С. 211-215.
10. **Лобов В.Й.** Автоматизовані системи керування конвеєрними установками / В.Й. Лобов, Л.І. Єфіменко, М.П. Тиханський, С.А. Рубан // Монографія: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ». - Кривий Ріг. – 2015. – 450с.
11. **Новиков Е.Е.** Теория ленточных конвейеров для крупнокусковых горных пород / Е.Е. Новиков, В.К. Смирнов // Киев: Наукова думка, 1998. – 184 с.
12. **Монастырский В.Ф.,** Экспериментальные исследования грузопотока крупнокускового груза / В.Ф. Монастырский, В.Ю. Максютенко, В.И. Плахотник, В.И. Бесчастный // Шахтный и карьерный транспорт. – М.: Недра, 1999. – Вып. 11. – С. 7-14.
13. **Коваль А.В.** Исследование динамических нагрузок на выбор конструктивных параметров роликкоопор шахтных ленточных конвейеров: дис. канд. техн. наук / А.В. Коваль – М., 1995.
14. **Козлов Е.М.** Определение нагрузок на основные элементы тяжелых ленточных конвейеров ГОКов / Е.М. Козлов // Шахтный и карьерный транспорт. – М.: Недра, 2000. – С. 24-27.
15. **Єфіменко Л.І.** Моделювання навантаження на опорні конструкції важких стрічкових конвеєрів / Л.І. Єфіменко, М.П. Тиханський // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць.- 2013.- Вип.34. - С. 34-37.

Рукопис подано до редакції 19.04.2018

АНОТАЦІЇ

УДК 622.234.4: 622.349.5: 622.831

Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О.В., Грищенко М.А. Випуск руди з малорухомої зони на лежачому боці покладу похилим очисним вибоєм

Мета. Метою роботи є аналіз, дослідження та розробка ефективних варіантів випуску відбитої руди біля лежачого боку рудних покладів з недостатніми кутами падіння при формуванні похилого обмежуючого контакту відбитої руди з очисним вибоєм.

Методи дослідження. Виконано детальний техніко-економічний аналіз факторів і умов, які впливають на ефективність випуску відбитої руди з малорухомої зони біля лежачого боку покладів. Дослідження випуску відбитої руди виконувалось на лабораторних моделях з урахуванням масштабу моделювання.

Застосування методів фізичного моделювання, заснованих на теорії подібності, дозволив зробити висновки, які лягли в основу наукових та практичних рекомендацій з випуску відбитої руди при формуванні похилого обмежуючого контакту відбитої руди з очисним вибоєм.

Наукова новизна. Лабораторними дослідженнями встановлено оптимальні параметри пошарової відбійки руди, яка дозволяє здійснювати випуск відбитої руди з малорухомої зони на лежачому боці покладів з мінімальними втратами та розубоженням. Встановлено залежності товщини шару відбиваємої руди з урахуванням можливості отримання максимальних показників вилучення відбитої руди.

Практична значимість. Виконаними дослідженнями розроблена та запропонована ефективна технологія пошарової відбійки та випуску відбитої руди, яка дозволить підвищити ефективність випуску без додаткових витрат на формування уловлюючих виробок лежачого боку та інших заходів, які застосовують на шахтах для вилучення запасів малорухомої зони на лежачому боці покладів.

Результати. На підставі виконаних досліджень та встановлених залежностей запропоновані оптимальні варіанти технології пошарової відбійки та випуску відбитої руди при формуванні похилого обмежуючого контакту відбитої руди з очисним вибоєм. Доведена доцільність відбійки похилими шарами з формуванням обмежуючого контакту відбитої руди з очисним вибоєм. Запропоновано пошаровий випуск похилим потоком.

Ключові слова: лабораторні дослідження, руда, похилий забій, пошарова відбійка, пошаровий випуск, лежачий бік, втрати.

Ступник Н.И., Калиниченко В.А., Калиниченко Е.В., Грищенко М.А. Випуск руди с малоподвижной зоны лежачего бока залежей при формировании наклонного очистного забоя

Цель. Целью данной работы является анализ, исследования и разработка эффективных вариантов выпуска отбитой руды с лежачего бока залежей с недостаточными углами падения при формировании наклонного ограничивающего контакта отбитой руды с очистным забоем.

Методы исследования. В представленной работе выполнен детальный технико-экономический анализ факторов и условий, влияющих на эффективность выпуска отбитой руды с «мертвой зоны» лежачего бока залежей. Выполнены лабораторные исследования выпуска отбитой руды на лабораторных моделях с учетом масштаба моделирования.

Применение методов моделирования, основанных на теории подобия, позволил сделать выводы, которые легли в основу научных и практических рекомендаций по выпуску отбитой руды при формировании наклонного ограничивающего контакта отбитой руды с очистным забоем.

Научная новизна. Лабораторными исследованиями установлены оптимальные параметры послышной отбойки руды, которые позволяют осуществлять выпуск отбитой руды с «мертвой зоны» лежачего бока залежей с минимальными потерями и разубоживанием. Установлены закономерности ширины слоя обрушаемой руды с учетом возможности получения максимальных показателей извлечения отбитой руды.

Практическая значимость. Выполненными исследованиями разработана и предложена высокоэффективная технология послышной отбойки и выпуска отбитой руды, которая позволит повысить эффективность выпуска без дополнительных затрат на формирование улавливающих выработок лежачего бока и других мероприятий, которые применяются сегодня на шахтах для извлечения запасов «мертвой зоны» лежачего бока залежей.

Результаты. На основании выполненных исследований и установленных закономерностей предложены оптимальные варианты технологии послышной отбойки и выпуска отбитой руды при формировании наклонного ограничивающего контакта отбитой руды с очистных забоев. Доказана целесообразность отбойки наклонными слоями с формированием ограничивающего контакта отбитой руды с очистным забоем. Предложена технология послышного выпуска наклонным потоком.

Ключевые слова: лабораторные исследования, руда, наклонный забой, послышная отбойки, послышный выпуск, лежачий бок, потери.

Stupnik N.I., Kalinichenko V.A., Kalinichenko E.V., Hryshchenko M.A. Ore drawing from the low mobility zone of the footwall of ore bodies when forming an inclined stope

Purpose. The paper is aimed at analyzing, investigating and developing efficient options of mined ore drawing from the footwall of ore bodies with insufficient dips when forming the inclined limiting contact of the mined ore with the stope.

Research methods. The paper presents detailed technical and economic analysis of factors and conditions impacting efficiency of mined ore drawing from the “dead zone” of the ore body footwall as well as results of laboratory studies of mined ore drawing considering the model scale.

Modeling methods based on the similarity theory enable conclusions which form the basis for scientific and practical guidelines for mined ore drawing when forming the inclined limiting contact of the mined ore with the stope.

Scientific novelty. Laboratory studies have resulted in determining optimal parameters of layered ore mining which allow ore drawing from the “dead zone” of the footwall of the ore body with minimal losses and dilution. The determined regularities of the caved ore layer enable obtaining the maximal mined ore extraction indicators.

Practical value. The conducted studies have resulted in development of the efficient technology of layered mining and drawing without additional expenditures on forming collector workings of the footwall and other measures for extracting reserves of the “dead zone” of the ore body footwall.

Results. The conducted studies and determined regularities enable suggesting optimal options of layered ore mining and drawing when forming the inclined limiting contact of the mined ore with the stope. There is also proposed a technology of layered inclined drawing.

Keywords: laboratory studies, ore, inclined stope, layered breaking, layered drawing, footwall, losses.

УДК 622.817.4

Шашенко А.Н., Скобенко А.В., Король В.И. Вероятностная модель возникновения акустических колебаний в призабойной области участка гетерогенного породного массива

Цель. Исследование процессов возникновения акустических колебаний в призабойной зоне отработываемого выбросоопасного пласта, как источника информации для его оперативной диагностики.

Методы исследований. Приведены результаты аналитических исследований процессов возникновения акустических колебаний в призабойной части участка гетерогенного породного массива. Показано, что в этой области имеет место множественное возникновение трещин-эмитентов акустических колебаний, размер которых равен 10^6 м.

Научная новизна. Исследования показали, что анализ акустических колебаний, возникших при разрушении локальной области угольного пласта возможен только в вероятностно-статистической постановке путем анализа их структуры конкретного породного массива, частоты и интенсивности воздействия на него совокупности статических и динамических нагрузок.

Практическая значимость. Исследования амплитудно-частотных характеристик возникающих акустических колебаний в стохастически неоднородном углепородном массиве позволят повысить надежность и достоверность прогноза возникновения газодинамических явлений, используя новые параметры и критерии.

Результаты. При технологическом воздействии на призабойную зону напряженно-деформированного состояния участка выработки угольного пласта таково, что в области массива, непосредственно контактирующей с работающим органом комбайна, происходит множественное возникновение трещин, распределение числа которых по размерам подчиняется одному из вероятностных законов распределения. Это позволит в последующем, опираясь на результаты настоящих исследований, разработать вероятностно-статистическую модель распространения акустического сигнала по структурно неоднородному волноводу, каким является выбросоопасный газонасыщенный угольный пласт, и на этой основе предложить дополнительные критерии возникновения газодинамических явлений.

Ключевые слова: амплитудно-частотные характеристики, призабойная зона отработываемого выбросоопасного угольного пласта, источник акустических колебаний, скорость распространения звуков в горных породах, стохастический неоднородный углепородный массив, энергетический критерий разрушения.

Шашенко О.М., Скобенко О.В., Король В.И. Імовірнісна модель виникнення акустичних коливань у привибійній частині ділянки гетерогенного породного масиву

Мета. Дослідження процесів виникнення акустичних коливань в привибійній зоні викидонебезпечного пласта, що відпрацьовується, як джерела інформації для його оперативної діагностики.

Методи досліджень. Наведено результати аналітичних досліджень процесів виникнення акустичних коливань у привибійній частині ділянки гетерогенного породного масиву. Показано, що в цій області має місце множинне виникнення тріщин-емітентів акустичних коливань, розмір яких дорівнює 10^6 м.

Наукова новизна. Дослідження показали, що аналіз акустичних коливань, що виникли при руйнуванні локальної області вугільного пласта можливий тільки в ймовірнісно-статистичній постановці шляхом аналізу їх структури конкретного породного масиву, частоти та інтенсивності впливу на нього сукупності статичних і динамічних навантажень.

Практична значимість. Дослідження амплітудно-частотних характеристик виникаючих акустичних коливань в стохастично неоднорідному вуглепородному масиві дозволять підвищити надійність і достовірність прогнозу виникнення газодинамічних явищ, використовуючи нові параметри і критерії.

Результат. Технологічна дія на привибійну зону напружено-деформованого стану ділянки відпрацювання вугільного пласта така, що в області масиву, який безпосередньо контактує з працюючим органом комбайна відбувається множинне виникнення тріщин, розподіл числа яких за розмірами підпорядковується одному із ймовірнісних законів розподілу. Це дозволяє в подальшому, спираючись на результати досліджень, розробити ймовірнісно-статистичну модель поширення акустичного сигналу по структурно неоднорідному хвилеводу, яким є викидонебезпечний газонасичений вугільний пласт, і на цій основі запропонувати додаткові критерії виникнення газодинамічних явищ.

Ключові слова: амплітудно-частотні характеристики, привибійна зона викидонебезпечного вугільного пласта, що відпрацьовується, джерело акустичних коливань, швидкість поширення звуку в гірських породах, стохастичний неоднорідний вуглепородний масив, енергетичний критерій руйнування.

Shashenko A.N., Skobenko A.V., Korol V.I. Probabilistic model of the origin of acoustic vibrations in bottom-hole zone within heterogeneous rock mass

Purpose. To study the formation of acoustic vibrations in the bottom-hole zone of the mineable outburst-prone seam as a source of information for its runtime diagnostics.

Research methods. The results of analytical studies of the formation of acoustic oscillations in the bottom-hole area of a heterogeneous rock mass are given. It is shown that there is a multiple origin of cracks-emitters of acoustic oscillations in this area; the size of these cracks is 10^6 m.

Scientific novelty. Studies have shown that the analysis of acoustic vibrations arising from the destruction of the local area of a coal seam is possible only in a probabilistic-statistical statement by analyzing their structure of a particular rock mass, frequency and intensity of influence to the rock mass of both static and dynamic loadings.

Practical value. Studies of the amplitude-frequency characteristics of the arising acoustic oscillations in a stochastically inhomogeneous coal and rock mass will improve the reliability and integrity of predictive information of gas-dynamic phenomena using new parameters and criteria.

Results. When the technological impact on the bottom-hole zone of the stress-strain state of the coal seam area is such that there is a multiple origin of cracks in the mass area directly in contact with combine's working element. The distribution of these cracks by their size is the subject to one of the probability distribution laws. These results will allow to develop a probabilistic-statistical model for the propagation of an acoustic signal through a structurally inhomogeneous waveguide and to suggest additional criteria for the origin of gas-dynamic phenomena. The outburst gas-saturated coal seam could be such waveguide.

Keywords: amplitude-frequency characteristics, bottom-hole zone of the mineable outburst-prone seam, source of acoustic oscillations, speed of sound propagation in rock, stochastic heterogeneous coal-rock mass, energy fracture criterion.

УДК 69.03

Кравченко К.В., Кошеленко Є.В., Кошеленко А.О. Оцінка параметрів енергоефективності будівлі на прикладі 10-го корпусу НТУ «Дніпровська політехніка»

Мета. Робота присвячена питанню визначення енергетичної ефективності громадських будівель.

Актуальність даної теми зумовлена прийняттям у 2017 році Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» за яким сертифікація енергетичної ефективності будівель, які знаходяться у комунальній власності і підлягають термомодернізації, реконструкції, термосанації або приміщення яких здаються в оренду, є обов'язковою.

Методи дослідження. У роботі виконано аналіз енергоефективності будівлі на прикладі 10 корпусу НТУ «Дніпровська політехніка». Загальний показник енергетичної ефективності включає в себе втрати крізь огорожуючі конструкції, витрати енергії на підігрівання вентиляційного повітря, на охолодження, кондиціювання приміщення у період року з надлишковими теплонадходженнями та на гаряче водопостачання. У даній роботі основну увагу приділено визначенню та аналізу структури теплових втрат крізь огорожуючі конструкції будівлі. Основними напрямками термомодернізації будівлі наразі є удосконалення огорожуючих конструкцій та модернізація систем вентиляції і теплопостачання.

Практична значимість. Визначено співвідношення між втратами крізь окремі однорідні ділянки огорожуючих конструкцій – стіни, вікна, перекриття горища та підвалу.

Наукова новизна. Визначено питому енергопотребу будівлі, зумовлену втратами енергії крізь огорожуючі конструкції. На підставі отриманих даних розроблені рекомендації для впровадження заходів зі зниження втрат тепла в будівлі та оцінено очікуване зниження енергоспоживання будівлі в результаті доведення опору теплопередачі огорожуючих конструкцій будівлі до мінімальних нормативних значень.

Результати. Дана робота є частиною більшого дослідження енергетичної ефективності, яке охоплює окрім втрат крізь огорожуючі конструкції також витрати енергії системами кліматизації приміщень, витрати на гаряче водопостачання та на освітлення, що складає повний комплекс енергетичних витрат будівлі для визначення класу її енергетичної ефективності. За рахунок термомодернізації огорожувальних конструкцій можна зменшити втрати практично в 3 рази і після приведення термічних опорів огорожень до нормативних значень очікувані розрахункові втрати складуть 33,58 кВт · год / м².

Ключові слова: енергозбереження, клас енергоефективності, питоме енергоспоживання.

УДК 69.03

Кравченко К.В., Кошеленко Е.В., Кошеленко А.А. Оценка параметров энергоэффективности здания на примере 10-го корпуса НТУ «Днепропетровская политехника»

Цель. Работа посвящена вопросу определения энергетической эффективности общественных зданий.

Актуальность данной темы обусловлена принятием в 2017 году Закона Украины «Про енергетичну ефективність будівель», согласно которому сертификация энергетической эффективности зданий, которые находятся в коммунальной собственности и подлежат термомодернизации, реконструкции, термосанации или помещения которых сдаются в аренду, является обязательной.

Методы исследований. В работе выполнен анализ энергоэффективности здания на примере 10 корпуса НТУ «Днепропетровская политехника». Общий показатель энергоэффективности включает в себя потери через ограждающие конструкции, потери энергии на подогрев вентиляционного воздуха, на охлаждение, кондиционирование помещения в период года с избыточными поступлениями тепла и на горячее водоснабжение. В данной работе основное внимание уделено определению и анализу структуры тепловых потерь через ограждающие конструкции здания.

Научная новизна. Определено соотношение между потерями через отдельные однородные участки ограждающих конструкций – стены, окна, перекрытия чердака и подвала.

Результаты. Установлено, что потери через ограждающие конструкции в их нынешнем состоянии составляют 95,89 кВт·год/м². За счет термомодернизации ограждающих конструкций можно уменьшить потери практически в 3 раза и после приведения термических сопротивлений ограждений к нормативным значениям ожидаемые расчетные потери составят 33,58 кВт·год/м². Данная работа является частью большего исследования энергетической эффективности, которое охватывает кроме потерь через ограждающие конструкции также затраты энергии системами климатизации помещений, затраты на горячее водоснабжение, освещение, что составляет полный комплекс энергетических затрат здания, необходимый для определения класса ее энергетической эффективности.

Ключевые слова: энергосбережения, класс энергоэффективности, удельное энергопотребление.

Kravchenko K.V., Koshelenko Y.V., Koshelenko A.O. Energy efficiency parameters of building on example 10 cases of NTU "Dnipro Polytechnic"

Purpose. The work is dedicated to the issue of determining the energy efficiency of the public buildings.

The relevance of this topic is due to the adoption in 2017 of the Law of Ukraine "On Energy Efficiency of Buildings", according to which certification of energy efficiency of buildings that are communally owned and subject to thermal modernization, reconstruction, thermo sanation or premises that are leased, is mandatory.

Research methods. In this paper, the analysis of the energy efficiency of the building was carried out using the example of building 10 of the NTU “Dnipro Polytechnic”. The overall energy efficiency indicator includes losses through the enclosing structures, energy losses for heating the ventilation air, for cooling, for conditioning the room during the period of the year with excessive heat and for hot water. This paper focuses on the definition and analysis of the structure of heat losses through the building envelope. The main directions of thermo-modernization of the building are now the improvement of fencing structures and modernization of ventilation and heat supply systems.

Scientific novelty. The relationship between losses through separate homogeneous sections of enclosing structures - walls, windows, attic and basement floors has been determined.

Practical value. Determined the specific energy demand of the building, due to energy losses through the enclosing structures. Based on the received data, recommendations for the implementation of measures to reduce the heat loss in the building were developed and estimated the expected decrease in energy consumption of the building as a result of proof of the heat resistance of the building envelope to the minimum regulatory values.

Results. This work is a part of a larger study of energy efficiency, which covers not only losses through fence constructions, but also energy costs by climate control systems, hot water supply and lighting costs, which constitutes the complete energy cost of a building to determine its energy efficiency class. Due to the thermo-modernization of fencing structures, it is possible to reduce the losses by almost 3 times and after the thermal resistance of the fences to the normative values is brought, the estimated calculated losses will be 33.58 kWh / m².

Keywords: energy saving, energy efficiency class, specific energy consumption.

УДК 622.333 – 033.26:625.06

Подкопаєв С.В., Повзун О.І., Калиниченко В.В., Вірич С.О. Моделювання кам'яновугільних в'язучих, модифікованих відходом виробництва полістиролу та наповнених коксовим вугіллям, для укріплення основ автомобільних доріг

Мета. Визначення оптимальних концентрацій відходу виробництва полістиролу (полістирольного пилу) та коксового вугілля у кам'яновугільних в'язучих для дорожнього будівництва.

Методи дослідження. Окрім стандартних методів визначення фізико-механічних властивостей органічних в'язучих речовин (глибина проникнення голки в градусах шкали пенетрометра, еластичність – прилад дуктилометр, температура розм'якшення – прилад «Кільце і куля») застосовано метод математичного планування експерименту.

Наукова новизна. Вперше проведено математичне й комп'ютерне дослідження системи «середовище, що модифікується (кам'яновугільний дьоготь), – полімер (відходи виробництва полістиролу – полістирольний пил) – активний дисперсний наповнювач (коксове вугілля). Розроблено математичну модель для оптимізації складу кам'яновугільних в'язучих, що відповідають зазначеній системі.

Практична значимість. Знаючи математично обчислені оптимальні концентрації полістирольного пилу та коксового вугілля, можна у виробничих умовах приготувати наповнене вугіллям дьогтеполістирольне в'язуче, яке за фізико-механічними властивостями і екологічними показниками наближається до бітуму нафтового дорожнього.

Результати. При оптимізації складу модифікованого полістирольним пилом та наповненого коксовим вугіллям кам'яновугільного в'язучого як фактори варіювання було прийнято: умовна в'язкість кам'яновугільного дьогтю за C_{30}^{10} , с (секунди); масова концентрація полістирольного пилу, %; масова концентрація коксового вугілля, %. Параметрами оптимізації є: глибина проникнення голки в градусах шкали пенетрометра, еластичність в'язучого при 0°C, м, температура розм'якшення в'язучого, °C. Оптимальні склади системи «дьоготь – полістирольний пил – коксове вугілля» визначали як оптимальні області допустимих значень факторів X_1 , X_2 , X_3 . Коефіцієнти рівнянь регресії обчислено за методом найменших квадратів. Рівняння регресії являють собою поліном другого ступеня. Одержані рівняння регресії перевірено на адекватність і задовольняють критерію Фішера. Розраховано й побудовано тривимірні діаграми «параметри оптимізації системи – фактори варіювання». Відповідно до отриманих рівнянь регресії побудовано поверхні відклику у тривимірному просторі. Визначено області допустимих значень оптимальних концентрацій полімеру та активного дисперсного наповнювача у кам'яновугільних в'язучих, які відповідають граничним значенням функцій відгуку.

Ключові слова: кам'яновугільне в'язуче, полістирольний пил, коксове вугілля, моделювання, оптимізація.

Подкопаєв С.В., Повзун А.І., Калиниченко В.В., Вірич С.А. Моделирование каменноугольных вяжущих, модифицированных отходом производства полистирола та наполненных коксовым углем, для укрепления оснований автомобильных дорог

Цель. Определение оптимальных концентраций отхода производства полистирола (полистирольной пыли) и коксового угля в каменноугольных вяжущих для дорожного строительства.

Методы исследования. Кроме стандартных методов определения физико-механических свойств органических вяжущих веществ (глибина проникновения иглы в градусах шкалы пенетрометра, еластичность – прибор дуктилометр, температура размягчения – прибор «Кольцо и шар») был применен метод математического планирования эксперимента.

Научная новизна. Впервые проведено математическое и компьютерное исследования системы «модифицируемая среда (каменноугольный деготь) – полимер (отход производства полистирола – полистирольная пыль) – активный дисперсный наполнитель (коксовый уголь). Разработана математическая модель для оптимизации состава каменноугольных вяжущих, которые соответствуют указанной системе.

Практическая значимость. Зная математически вычисленные оптимальные концентрации полистирольной пыли и коксового угля, можно в производственных условиях приготовить наполненное углем дегтеполистирольное вяжущее, которое по физико-механическим свойствам и экологическим показателям приближается к битуму нефтяному дорожному.

Результаты. При оптимизации состава модифицированного полистирольной пылью и наполненного коксовым углем каменноугольного вяжущего в качестве факторов варьирования были приняты: условная вязкость каменноугольного дегтя по C_{30}^{10} , с (секунды); массовая концентрация полистирольной пыли, %; массовая концентрация коксового угля, %. Параметрами оптимизации – глубина проникновения иглы в градусах шкалы пенетрометра, эластичность вяжущего при 0°C, м, температура размягчения вяжущего, °C. Оптимальные составы системы «деготь – полистирольная пыль – коксовый уголь» определяли как оптимальные области допустимых значений факторов X_1 , X_2 , X_3 . Коэффициенты уравнений регрессии вычислены методом наименьших квадратов. Уравнения регрессии представляют собой полином второй степени. Полученные уравнения регресс проверены на адекватность и удовлетворяют критерию Фишера. Построены трехмерные диаграммы «параметры оптимизации системы – факторы варьирования». В соответствии с полученными уравнениями регрессии построены поверхности функции отклика в трехмерном пространстве. Определены области допустимых значений оптимальных концентраций полимера и активного дисперсного наполнителя в каменноугольных вяжущих, которые отвечают граничным значениям функций отклика.

Ключевые слова: каменноугольное вяжущее, полистирольная пыль, коксовый уголь, моделирование, оптимизация.

Podkopaev S.V., Povzun O.I., Kalinichenko V.V., Virych S.O. Modeling of Carboniferous Binders, Modified by Polystyrene and Coking Coal Disposal, for strengthening the bases of highways

Purpose. Determination of optimal concentrations of waste from the manufacture of polystyrene (polystyrene dust) and coking coal in carbonaceous binders for road construction.

Research methods. In addition to standard methods for determining the physical and mechanical properties of organic binders (penetration depth of a needle in degrees of a penetrometer scale, elasticity - instrument ductilometer, softening temperature - «Ring and ball» device), the method of experiment planning was applied.

Scientific novelty. For the first time a mathematical and computer research of the system "Modified medium (coal tar), polymer (polystyrene waste production - polystyrene dust), an active disperse filler (coke coal), was conducted. The mathematical model is developed for optimization of carbonaceous binders composition, which correspond to the specified system.

Practical value. It is possible to prepare in the production conditions a coal-filled dioetpolystyrene binder, which, according to physical and mechanical properties and environmental indicators, is approaching bitumen of the oil road.

Results. When optimizing the composition of polystyrene-modified dust and coking coal filled with carbonaceous binder as factors of variation, it was accepted: the conditional viscosity of carbonaceous tar in C_{30}^{10} (seconds); mass concentration of polystyrene dust,%; mass concentration of coking coal,% . The parameters of optimization are: dpenetration depth of a needle in degrees of a penetrometer scale, elasticity of the binding agent at 0°C, m, softening temperature of the binder, °C. The optimal compositions of the system "tar - polystyrene dust - coke coal" were defined as optimal areas of admissible values of the factors X_1 , X_2 , X_3 . The coefficients of the regression equations are calculated using the smallest squares method. Regression equations represent a second degree polynomial. The obtained regression equations are checked for adequacy and satisfy Fisher's criterion. The three-dimensional diagrams "parameters of system optimization - variance factors" are calculated and constructed. In accordance with the obtained regression equations, the surface of the recall is constructed in a three-dimensional space. Areas of admissible values of optimal concentrations of polymer and active disperse filler in carbonaceous binders, which correspond to the limit values of response functions, are determined.

Keywords: carbonaceous binder, polystyrene dust, coke coal, modeling, optimization.

УДК 004.415.2.052.03

Арутюнян В.Е. Актуальність використання мобільного інтернету для інформаційної системи масового оповіщення населення

Мета. Стаття передбачає обґрунтування актуальності використання мобільного інтернету для інформаційної системи масового оповіщення населення при надзвичайних ситуаціях, аналіз надійності та живучості системи оповіщення за допомогою мобільного додатку та використання мобільного інтернету в залежності від кількості базових станцій, радіоканалів та тривалості виклику.

Методи дослідження. В роботі представлено методи аналізу живучості мобільного зв'язку при надзвичайних ситуаціях. Проведено чисельні розрахунки деяких змодельованих ситуацій роботи з мобільним зв'язком, які дають змогу прогнозувати високу надійність використання мобільного інтернету для інформаційних систем масового оповіщення.

Наукова новизна. Науковою новизною роботи є запропонований аналіз живучості мобільного зв'язку при оповіщеннях у надзвичайних ситуаціях, в залежності від кількості базових станцій у кластері, від тривалості мобільного виклику та від числа радіоканалів у базовій станції.

Практична значимість. Результати представленого дослідження важливо враховувати при розробці систем масового оповіщення населення, які використовують мобільні додатки і мають потребу у мобільному інтернет-зв'язку та при використанні подібних систем для того, щоб оцінити їх переваги та недоліки і усунути останні.

Результати. Завдання масового оповіщення засобами мобільних девайсів активно розглядається як одне з рішень зарубіжними вченими, більшість яких дійшли висновку щодо максимальної ефективності при використанні смартфонів або телефонів в структурі систем оповіщення за допомогою мобільних додатків, які, в свою чергу, використовують для цього мобільний інтернет. Представлені в статті розрахунки показали високу надійність використання мобільного зв'язку засобами мобільного інтернету для систем масового оповіщення населення при надзвичайних ситуаціях. Висока живучість системи значною мірою досягається за рахунок коротких викликів, які є характерними для мобільного інтернету або SMS. Також з чисельного аналізу стає очевидним, що живучість такої системи масового оповіщення можливо значною мірою збільшувати шляхом перерозподілу радіоканалів зв'язку у кластері і збільшення їх кількості для базових станцій, які знаходяться в зоні стихійного лиха.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, система масового оповіщення населення, мобільний інтернет, мобільний додаток, базові станції мобільного зв'язку, радіоканали базових станцій.

Арутюнян В.Э. Актуальность использования мобильного интернета для информационной системы массового оповещения населения

Цель. Статья предусматривает обоснование актуальности использования мобильного интернета для информационной системы массового оповещения населения при чрезвычайных ситуациях, анализ надежности и живучести системы оповещения с помощью мобильного приложения и использования мобильного интернета в зависимости от количества базовых станций, радиоканалов и продолжительности вызова.

Методы исследования. В работе представлены методы анализа живучести мобильной связи при чрезвычайных ситуациях. Проведены численные расчеты некоторых смоделированных ситуаций работы с мобильной связью, которые позволяют прогнозировать высокую надежность использования мобильного интернета для информационных систем массового оповещения.

Научная новизна. Научной новизной работы является предложенный анализ живучести мобильной связи при оповещениях в чрезвычайных ситуациях, в зависимости от количества базовых станций в кластере, от продолжительности мобильного вызова и от числа радиоканалов в базовой станции.

Практическая значимость. Результаты представленного исследования важно учитывать при разработке систем массового оповещения населения, использующих мобильные приложения и нуждающиеся в мобильной интернет-связи и при использовании подобных систем для того, чтобы оценить их преимущества и недостатки и устранить последние.

Результаты. Задача массового оповещения средствами мобильных девайсов активно рассматривается как одно из решений зарубежными учеными, большинство которых пришли к выводу о максимальной эффективности при использовании смартфонов или телефонов в структуре систем оповещения с помощью мобильных приложений, которые, в свою очередь, используют для этого мобильный интернет. Представленные в статье расчеты показали высокую надежность использования мобильной связи средствами мобильного интернета для систем массового оповещения населения при чрезвычайных ситуациях. Высокая живучесть системы в значительной степени достигается за счет коротких вызовов, которые характерны для мобильного интернета или SMS. Также с численного анализа становится очевидным, что живучесть такой системы массового оповещения возможно в значительной степени увеличивать путем перераспределения радиоканалов связи в кластере и увеличение их количества для базовых станций, которые находятся в зоне стихийного бедствия.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, система массового оповещения населения, мобильный интернет, мобильное приложение, базовые станции мобильной связи, радиоканалы базовых станций.

Arutiunian V.E. Mobile Internet for the mass notification information system

Purpose. To justify the relevance of the use of mobile Internet for the mass notification information system in emergency situations, analysis of the reliability and survivability of the mobile application of the notification system and the use of mobile Internet depending on the number of base stations, radio channels and duration of the call.

Research methods. The paper presents the methods for analyzing the survivability of mobile communication in emergency situations. Numerical calculations of some simulated situations of mobile communication have been carried out. They allow to predict high reliability of using the mobile Internet for information systems of mass notification.

Scientific novelty. The scientific novelty of the paper has focused on the proposed analysis of the survivability of mobile communication in case of emergency situations, depending on the number of base stations in the cluster, on the duration of the mobile call and on the number of radio channels in the base station.

Practical value. It is important to take into account the results of this study when developing mass notification systems using cellular applications and requiring mobile Internet communication and using such systems in order to assess their advantages and disadvantages and eliminate them.

Results. The task of mass notification by mobile devices is actively considered as one of the effective solutions by foreign scientists, most of whom have come to the conclusion about the maximum efficiency when using smartphones or phones in the structure of notification systems using mobile applications, which, in turn, use the mobile Internet for this purpose. The calculations presented in the article has showed high reliability of mobile communication using the mobile Internet for systems of mass notification of the population in emergency situations. The high resilience of the system is largely achieved by short calls, that are typical of mobile Internet or SMS. It is also clear from the numerical analysis, that the survivability of such a mass notification system can be greatly increased by redistributing radio communication channels in the cluster and increasing their number for base stations located in a disaster zone.

Keywords: emergency situation, mass notification system, mobile Internet, mobile application, base stations of mobile communication, radio stations of base stations.

УДК 622.7: 534

Губин Г.В., Равинская В.О., Губин Г.Г., Ткач В.В. Загрязнение поверхности минеральных частиц и их очистка

Целью работы является установление закономерности дезинтеграции техногенных сростков и флокул при магнитно-флотационном обогащении магнетитовых кварцитов за счет использования высокоэнергетического ультразвука в кавитационном режиме.

Методы исследования. Использован комплекс методов которые включали: рентгенофазовый и минеральный анализы продуктов обогащения кварцитов, измерение электрокинетического потенциала поверхности минералов; гранулометрический анализ, лабораторные исследования влияния действия электрохимической и ультразвуковой обработки на продукты обогащения магнетитовых кварцитов.

Научная новизна. В отличие от имеющихся положений об образовании техногенных сростков в операциях тонкого измельчения руд, установлено, что применение вертикальных мельниц приводит к обратному явлению - частичного оттирания поверхности минералов от посторонних наслоений вследствие замены в этих мельницах ударных нагру-

зок истираючими тангенціальними силами розрушення, що дозволяє розробити технологію переробки пенних продуктів, получаемых в процесі флотаційної доводки магнетитових концентратів.

Вперше для дезинтеграції рудних флокулообразований і техногенних зростків перед флотаційним збагаченням розроблено метод попередньої обробки залізистих кварцитів, оснований на виникненні кавітаційних процесів в повітряній бульбашці за допомогою динамічних ефектів високоенергетичного ультразвуку, що дозволяє збільшити ефективність очищення від шламових частинок поверхневості концентратів магнетитової сепарації в 1,8 рази.

Практичне значення. Дослідження процесів утворення техногенних зростків і обробка їх високоенергетичним ультразвуком дозволяє поліпшити техніко-економічні показники флотаційної доводки магнетитових концентратів при збагаченні вельми тонковкраплених залізистих кварцитів, а також знизити K_2O і Na_2O в готовому продукті. Останнє дуже важливо, тому що калій і натрій знижують міцність окатишів при низькотемпературному відновленні їх в доменних печах, що призводить до збільшення витрат коксу і зниження продуктивності печей. До залізорудних концентратів пред'являються високі вимоги до їх якості, тому що від цього залежать техніко-економічні показники роботи металургійних агрегатів і можливість успішної реалізації сировини на світовому ринку.

Результати. Встановлено, що електрохімічна і ультразвукова обробка пульпи при збагаченні магнетитових кварцитів призводить до підвищення якісно-кількісних технологічних показників процесу і може бути використана для подальших укрупнених досліджень.

Ключові слова: залізисті кварцити, електрохімічна і ультразвукова обробка пульпи при збагаченні руди, техногенні зростки, очищення поверхні мінеральних часток від забруднень.

Gubin G.V., Ravinskaya V.O., Gubin G.G., Tkach V.V. Забруднення поверхні мінеральних часток і їх очищення

Метою роботи є встановлення закономірності дезинтеграції техногенних зростків та флокул при магнетитовій флотаційній збагаченні концентратів залізистих кварцитів за рахунок використання високоенергетичного ультразвуку в кавітаційному режимі.

Методи дослідження Використаний комплекс методів: рентгенофазовий і мінеральний аналізи продуктів збагачення кварцитів, вимір електрокінетичного потенціалу поверхні мінералів; гранулометричний аналіз, лабораторні дослідження впливу дії електрохімічної і ультразвукової обробки на продукти збагачення магнетитових кварцитів.

Наукова новизна. На відміну від наявних положень про утворення техногенних зростків в операціях тонкого подрібнення руд, встановлено, що застосування вертикальних млинів призводить до зворотного явища - часткового відтирання поверхні мінералів від сторонніх нашарувань унаслідок заміни в цих млинах ударних навантажень стираючими тангенціальними силами руйнування, що дозволяє розробити технологію переробки пінних продуктів, які отримуються в процесі флотаційного доведення магнетитових концентратів.

Уперше для дезинтеграції рудних флокулоутворень та техногенних зростків перед флотаційним збагаченням розроблено метод попереднього оброблення залізистих кварцитів пульпи, який засновано на виникненні кавітаційних процесів у повітряній бульбашці за допомогою динамічних ефектів високоенергетичного ультразвуку, що дозволяє збільшити ефективність очищення від шламових частинок поверхневості концентратів магнетитової сепарації в 1,8 рази.

Практичне значення. Дослідження процесів утворення техногенних зростків та їх обробка високоенергетичним ультразвуком дозволяє поліпшити техніко-економічні показники флотаційного доведення магнетитових концентратів при збагаченні вельми тонковкраплених залізистих кварцитів, а також знизити K_2O і Na_2O в готовому продукті. Останнє дуже важливо, тому що калій і натрій знижують міцність окатишів при низькотемпературному відновленні їх в доменних печах, що призводить до збільшення витрат коксу і зниження продуктивності печей. До залізорудних концентратів пред'являються високі вимоги до їх якості, тому що від цього залежать техніко-економічні показники роботи металургійних агрегатів і можливість успішної реалізації сировини на світовому ринку.

Результати. Встановлено, що електрохімічна і ультразвукова обробка пульпи при збагаченні магнетитових кварцитів призводить до підвищення якісно-кількісних технологічних показників процесу і може бути використана для подальших укрупнених досліджень.

Ключові слова: залізисті кварцити, електрохімічна і ультразвукова обробка пульпи при збагаченні руди, техногенні зростки, очищення поверхні мінеральних часток від забруднень.

Gubin G.V., Ravinskaya V.O., Gubin G.G., Tkach V.V. Pollution of the surface of mineral particles and their cleaning

Purpose. To establish patterns of disintegration of technogenic joints and flocules during magnetic-flotation enrichment of magnetite quartzite through the use of high-energy ultrasound in the cavitations' mode.

Research methods. Complex methods are used, including: enrichment of quartzites, measurement of the electrokinetic surface of minerals; particle size analysis, laboratory studies, the effects of electrochemical and ultrasonic treatments on the enrichment products of magnetite quartzite.

Scientific novelty. In contrast to the existing provisions on the formation of technogenic joints in the application of fine grinding of ores, it was found that the use of vertical mills leads to an opposite phenomenon - partial scrubbing of the surface of minerals from foreign layers due to the replacement of shock loads in these mills erasing tangential forces of destruction, that allows us to develop a technology for the processing of froth products obtained in the process of flotation finishing of magnetite concentrates. Before the flotation enrichment, a method for treating iron ore pulps was developed for disintegrating ore flocculation and technogenic joints. This is based on the occurrence of cavitation processes with air bubbles using the dynamic effects of high-energy ultrasound. This improves the cleaning efficiency of sludge particles in the composition of minerals in flotation and magnetic emissions by a factor 1.8.

Practical value. The study of the processes of the formation of technogenic joints and the treatment of them with high-energy ultrasound can improve the technical and economic indicators of the flotation finishing of magnetite concentrates with the enrichment of very fine disseminated ferruginous quartzites, while also reduce K_2O and Na_2O in the finished product. The latter is very important, because potassium and sodium reduce the strength of the pellets at low-temperature recovery in blast

furnaces, which leads to an increase in coke consumption and reduced productivity of the furnaces. Iron ore concentrates must be of high quality, since the technical and economic performance indicators of the metallurgical units and the possibility of the successful sale of raw materials on the world market depend on this.

Results. It is concluded that electrochemical and ultrasonic treatment of pulps with the enrichment of magnetite quartzites leads to an increase in the qualitative and quantitative indicators of the process and can be used for further enlarged research.

Keywords: ferruginous quartzites, electrochemical and ultrasound pulp processing during ore dressing, technogenic joints, cleaning the surface of mineral particles from contamination.

УДК 622.235:622.271

Скачков А.А., Тітов Д.А., Жуков С.О. Развитие математического моделирования динамики выбуху пари свердловинних зарядів з урахуванням суперпозиції хвиль

Мета. Основною метою дослідження є моделювання взаємодії свердловинних зарядів, які підриваються попарно. При цьому проаналізовано особливості суперпозиції вибухових хвиль в залежності від послідовності відривання цих зарядів. Воно присвячене вирішенню актуальної проблеми – зниженню питомої витрати вибухових речовин для руйнування гірських порід.

Методи дослідження. Аналіз геомеханічних процесів математичним моделюванням динамічного напруження породного масиву вибухом на відкритих розробках.

Наукова новизна. Полягає в тому, що моделюванням встановлено залежність суперпозиції вибухових хвиль в кристалічному середовищі від послідовності підривання зарядів в двох прилеглих свердловинах, що дає можливість більш ефективно дробити гірську породу ними.

Практична значимість. Полягає в можливості зниження питомої витрати вибухових речовин при вибуховому руйнуванні скельних порід.

Результати. Для теорії і практики ведення вибухових робіт важливо знати особливості формування і взаємодії силових полів свердловинних зарядів ВР, які підривають із затримкою. Основну роль в процесі руйнування гірського масиву за цих умов відіграє суперпозиція пружних хвиль. Підбором мас зарядів і тривалості затримки між вибухами 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. З огляду на часові та геометричні характеристики породного масиву, можна припустити, що його напружений стан буде повністю відповідати фізичним параметрам інтегральної зони, за яких суперпозиція вибухових хвиль мінімізується. Отримані результати можуть бути використані для розробки вибухових технологій, заснованих на руйнуванні гірського масиву, приведенного попередньо в напружений стан від вибуху зарядів ВР, наприклад, малої потужності. 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, вибухові хвилі, вибухові роботи, свердловинні заряди.

Скачков А.А., Тітов Д.А., Жуков С.А. Развитие математического моделирования динамики взрыва пары скважинных зарядов с учетом суперпозиции волн

Цель. Основной целью исследования является моделирование взаимодействия скважинных зарядов, которые подрываются попарно. При этом проанализированы особенности суперпозиции взрывных волн в зависимости от последовательности взрывания этих зарядов. Оно посвящено решению актуальной проблемы – снижению удельного расхода взрывчатых веществ для разрушения горных пород.

Методы исследования. Анализ геомеханических процессов математическим моделированием динамического напряжения породного массива взрывом на открытых разработках.

Научная новизна. Заключается в том, что моделированием установлена зависимость суперпозиции взрывных волн в кристаллическом среде от последовательности взрывания зарядов в двух близлежащих скважинах, что позволяет более эффективно дробить горную породу ними.

Практическая значимость заключается в возможности снижения удельного расхода взрывчатых веществ при взрывном разрушении скальных пород.

Результаты. Для теории и практики ведения взрывных работ важно знать особенности формирования и взаимодействия силовых полей скважинных зарядов, которые подрывают с замедлением. Основную роль в процессе разрушения горного массива при этих условиях играет суперпозиция упругих волн. Подбором масс зарядов и продолжительности задержки между взрывами можно регулировать процесс взрывного нагружения в зависимости от конкретных горно-геологических условий ведения взрывных работ. За счет изменения способов формирования и порядка взрывания зарядов в разрушаемом объеме, можно влиять на процесс разрушения, зная особенности формирования силовых полей. Учитывая временные и геометрические характеристики породного массива, можно предположить, что его напряженное состояние будет полностью соответствовать физическим параметрам интегральной зоны, в которых суперпозиция взрывных волн минимизируется. Полученные результаты могут быть использованы для разработки взрывных технологий, основанных на разрушении горного массива, приведенного предварительно в напряженное состояние от взрыва зарядов, например, малої мощности. 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, взрывные волны, взрывные работы, скважинные заряды.

Skachkov A.A., Titov D.A., Zhukov S.O. Mathematical modeling of explosive dynamics of two charges in terms of wave superposition

Purpose. To simulate the interaction of borehole charges that are bursting in pairs. In this case, the features of superposition of explosive waves are analyzed, depending on the sequence of separation of these charges. It is devoted to the solution of the actual problem – to reduce the specific consumption of explosives for the destruction of rocks.

Research methods. Analysis of geomechanical processes by mathematical modeling of the dynamic stresses of a rock mass by an explosion in open pits.

Scientific novelty. It lies in the fact that the simulation determined the dependence of the superposition of explosive waves in a crystalline surroundings on the sequence of blasting charges in two nearby wells, which makes it possible to more effectively crush the rock with them.

Practical value lies in the possibility of reducing the specific consumption of explosives in the explosive destruction of rocks.

Results. For the theory and practice of blasting, it is important to know the features of the formation and interaction force fields downhole explosive charge that undermine delayed. The superposition of elastic waves plays a major role in the destruction of the rock mass under these conditions. By selecting the masses of charges and the duration of the delay between the explosions, it is possible to regulate the explosive loading process depending on the specific mining and geological conditions of blasting operations. By changing the methods of forming and ordering the destruction of explosive charges in a destroyed volume, one can influence the process of destruction, knowing the peculiarities of the formation of force fields. Given the time and geometric characteristics of the rock massif, it can be assumed that its tense state will fully correspond to the physical parameters of the integral zone, in which the superposition of the explosive waves is minimized. 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. Further development and manufacturing application of the research results will provide a significant reduction in the cost price of iron ore products by increasing the efficiency of drilling and blasting operations in open pit.

Keywords: ore, explosive destruction, elastic waves, blasting, borehole charges.

УДК 622.023.001.57

Рязанцев М.О., Носач О.К., Рязанцев А.М., Кулівар В.В. Резонанс в гірському масиві при геодинамічних явищах

Мета. Основною метою роботи є розробка деформаційного передвісника геодинамічних явищ в гірському масиві.

Методи досліджень. В роботі наведені експериментальні дані з деформування і руйнування гірських порід в об'ємному напруженому стані на установці нерівнокомпонентного об'ємного стиснення конструкції ДонФТІ НАН України з дослідження змін амплітуди приросту лінійних, об'ємних і зсувних деформацій та пружних параметрів гірських порід в процесі навантаження. Проаналізовано умови виникнення резонансних явищ при деформуванні і руйнуванні гірських порід.

Наукова новизна. Вперше показано, що пружні характеристики гірських порід не є константами матеріалу, а змінюються за величиною і за знаком в процесі механічного навантаження. В процесі деформування гірських порід спостерігається чотири характерних етапи. З точки зору руйнування найбільш цікавим є третій етап – резонансне зростання приросту максимальної, мінімальної і зсувної деформації. Коли модуль об'ємного стиснення проходить через безкінечність виникає течія, а коли він дорівнює модулю зсуву, виникає ударна хвиля і динамічне руйнування гірських порід.

Практичне значення. Резонансне зростання амплітуди приросту максимальної, мінімальної і зсувної деформації є критерієм руйнування взагалі, і динамічного руйнування зокрема, що на практиці може використовуватись як передвісник або прогнозний критерій руйнування.

Результати. Показано, що гірські породи є класичними ауксетиками, в яких пружні показники в процесі механічного навантаження змінюють величину і знак. Характерні деформації, при яких пружні характеристики змінюють свою величину, є квантованими і постійними для всіх матеріалів. Найбільш інформативним показником з точки зору руйнування є амплітуда приросту деформацій в процесі навантаження. Показано, що перед руйнуванням відбувається резонансне зростання амплітуди приросту лінійних і зсувних деформацій внаслідок подвійного вихрового резонансу по швидкості, розмірах структур і частоті. Умовою резонансу є проходження модулю об'ємного стиснення через безкінечність і зрівняння з модулем зсуву.

Ключові слова: геодинамічні явища, пружні характеристики, ауксетика, приріст деформації, резонанс, руйнування

Рязанцев Н.А., Носач А.К., Рязанцев А.Н., Кулівар В.В. Резонанс в горном массиве при геодинамических явлениях

Цель. Основной целью работы является разработка деформационного критерия или предвестника геодинамических явлений в горном массиве.

Методы исследований. В работе приведены экспериментальные данные из деформирования и разрушения горных пород в объемном напряженном состоянии на установке неровнокомпонентного объемного сжатия конструкции ДонФТИ НАН Украины с исследованиями изменений амплитуды при роста линейных, объемных и сдвиговых деформаций, и упругих параметров горных пород в процессе нагрузки. Проанализированы условия возникновения резонансных явлений при деформировании и разрушении горных пород.

Научная новизна. Впервые показано, что упругие характеристики горных пород не являются константами материала, а изменяются по величине и по знаку в процессе механической нагрузки. В процессе деформирования горных пород наблюдается четыре характерных этапа. С точки зрения разрушения наиболее интересным является третий этап – резонансный рост прироста максимальной, минимальной и сдвига деформации. Когда модуль объемного сжатия проходит через бесконечность, появляется течение, а когда он равняется модулю сдвига, возникает ударная волна и динамическое разрушение горных пород.

Практическое значение. Резонансный рост амплитуды прироста максимальной, минимальной и сдвиговой деформации является критерием разрушения вообще, и динамического разрушения в частности, что на практике может использоваться в качестве представителя или прогнозирующего критерия разрушения.

Результаты. Показано, что горные породы есть классическими ауксетиками, в которых упругие показатели в процессе механической загрузки изменяют величину и знак. Характерные деформации, при которых упругие характеристики изменяют свою величину, являются квантованными и постоянными для всех материалов. Наиболее информативным показателем с точки зрения разрушения является прирост деформаций в процессе нагрузки. Показано, что

перед разрушением происходит резонансный рост амплитуды прироста линейных и смещённых деформаций в последствии двойного вихре-волнового резонанса по скорости, размерах структур и частоте. Условием резонанса есть происхождение модуля объёмного сдвигания через бесконечность и уравнение с модулем сдвига.

Ключевые слова: геодинамические явления, упругие характеристики, ауксетики, прирост деформации, резонанс, разрушение.

Riazantsev M.O, Nosach, O.K., Riazantsev A.M., Kulivar V. V. Resonance in rock mass in terms of geodynamic phenomena **Purpose.** To develop a deformation criterion or a sign of geodynamic phenomena in the rock mass.

Research methods. The paper represents experimental data concerning deformation and destruction of rock in its volumetric stressed state in terms of the facility of no nuni form component volumetric compression designed by DonFTI of the National Academy of Sciences of Ukraine; that involved studies of changes in increment amplitudes of linear, volumetric, and shear deformations as well as elastic parameters of rocks while their loading. Conditions of resonance phenomena occurrence in the process of rock deformation and destruction have been analyzed.

Scientific novelty. It has been shown for the first time that elastic characteristics of rocks are not material constants but they experience certain changes in their quantity and sign in the process of mechanical loading. Four specific stages are observed during rock deformation. From the viewpoint of destruction, stage three is of special interest – it involves resonance growth of the increment of maximum, minimum, and shear deformations. When modulus of volumetric compression goes through the infinite distance, a current appear; when it is equal to zero, one can observe shock wave and rock destruction.

Practical value. Resonance growth of the crement amplitude of the maximum, minimum, and shear deformation is the criterion of destruction in general and the criterion of dynamic destruction in particular; in practice, that can be used as a sign or prognostic criterion of the destruction.

Results. It has been demonstrated that rock is the classical auxetics, in which elastic parameters in the process of mechanical loading change their quantity and sign. Characteristic deformations, under which elastic features change their quantity, are quantum ones being constant for all the materials. Deformation increment while loading is the most informative parameter from the viewpoint of destruction. It has been shown that the destruction is preceded by resonance growth of the increment amplitude of minimum, maximum, and shear deformations due to double vortex-wave resonance in terms of velocity, structure sizes, and frequency. Generation of the volumetric compression modulus by means of infinite distance as well as equation with shear modulus is the resonance condition.

Keywords: geodynamic phenomena, elastic characteristics, auxetics, increment of deformation, resonance, destruction.

УДК 622.272

Тищенко С.В., Еременко Г.И., Малых Д.Ю. Анализ моделей взрывного разрушения твердой среды и механики хрупкого разрушения

Цель. Исследовать равнодействующие силы, действующие на противоположные грани рассматриваемого элементарного параллелепипеда; получить уравнения, образующие систему четырех дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка, определяющих четыре неизвестных функции.

Методы исследований. Метод математического моделирования взрывных процессов достаточно апробирован. Схемы построения математических моделей взрывного разрушения твердой среды основаны на качественном анализе рассматриваемого явления. Причем при необходимости сложные процессы расчленяются на отдельные предельно простые блоки, учитывающие только самые основные черты явления. После строгой формулировки сделаны предположения отдельные блоки сводятся в одно решение поставленной задачи в целом, не вызывающей затруднений с чисто математической стороны.

Научная новизна. В данной задаче исследование действия взрыва заряда ВВ в твердой сплошной среде базируется на изучении поля скоростей, которое возникает в ней после взрыва. При этом учитывается, что в разных местах среды действие взрыва будет различным, и для верного представления процесса определяется величина скорости в любой момент времени.

Практическое значение. Анализируя математические модели взрывного нагружения твердой среды, необходимо отметить условность их построения. В действительности не существует четких границ между зонами или этапами, на которых построено рассмотрение процесса. При этом до сих пор не существует общепринятой единой точки зрения на механизм взрывного разрушения. Тем не менее, рассмотренные математические модели, в силу своей физической ясности и простоты могут быть использованы для качественного анализа процессов, происходящих при взрывном разрушении горных пород.

Результаты. Большой практический интерес представляет задача о границе области с определенной интенсивностью дробления. Решение этой задачи вызывает определенные трудности, так как одним из основных факторов дробления является структура горного массива, характеризующаяся очень большим количеством параметров, поэтому методы механики сплошной среды не могут дать точного решения.

Ключевые слова: математическая модель, поле скоростей, действие взрыва, интенсивность дробления.

Тищенко С.В., Еременко Г. И., Малых Д.Ю. Анализ моделей вибухового руйнування твердого середовища і механіки крихкого руйнування

Мета. Дослідити рівнодійні сили, що діють на протилежні грані розглянутого елементарного паралелепіпеда; отримати рівняння, що утворюють систему чотирьох диференціальних рівнянь в похідних першого порядку, що визначають чотири невідомих функції.

Методи досліджень. Метод математичного моделювання вибухових процесів досить апробований. Схеми побудови математичних моделей вибухового руйнування твердого середовища засновані на якісному аналізі даного явища. Причому при необхідності складні процеси поділяються на окремі гранично прості блоки, що враховують тільки найосновніші риси явища. Після формулювання зроблені припущення- окремі блоки зводяться в одне рішення поставленого завдання в цілому, що не викликає труднощів з чисто математичної сторони.

Наукова новизна. У цьому завданні дослідження дії вибуху заряду ВР у твердому суцільному середовищі базується на вивченні поля швидкостей, яке виникає в ній після вибуху. При цьому враховується, що в різних місцях середовища дія вибуху буде різною, і для вірного уявлення процесу визначається величина швидкості в будь-який момент часу.

Практичне значення. Аналізуючи математичні моделі вибухового навантаження твердого середовища, необхідно відзначити умовність їх побудови. Насправді не існує чітких меж між зонами або етапами, на яких побудовано розгляд процесу. При цьому до цих пір не існує загальноприйнятої єдиної точки зору на механізм вибухового руйнування. Проте, розглянуті математичні моделі, в силу своєї фізичної ясності і простоти можуть бути використані для якісного аналізу процесів, що відбуваються при вибуховому руйнуванні гірських порід.

Результати. Великий практичний інтерес представляє завдання про кордон області з певною інтенсивністю дроблення. Вирішення цього завдання викликає певні труднощі, так як одним з основних факторів дроблення є структура гірського масиву, що характеризується дуже великою кількістю параметрів, тому методи механіки суцільного середовища не можуть дати точного рішення.

Ключові слова: математична модель, поле швидкостей, дія вибуху, інтенсивність дроблення.

Tyshchenko S.V., Eremenko G.I., Malykh D.Yu. Explosive destruction models of hard environment and mechanics of fragile destruction

Purpose. To investigate the resultant forces acting on the opposite faces of the considered parallelepiped; to obtain equations that form a system of four differential equations in first-order partial derivatives that define four unknown functions.

Research methods. The method of mathematical modeling of explosive processes is sufficiently tested. The schemes for constructing mathematical models of the explosive destruction of a solid medium are based on a qualitative analysis of the phenomenon under consideration. Complex processes are divided into separate extremely simple blocks, taking into account only the most basic features of the phenomenon. After a rigorous formulation, the assumptions were made that the individual blocks are reduced to one solution of the problem as a whole, which does not cause difficulties from a purely mathematical side.

Scientific novelty. The study of an explosion of an explosive charge in a solid continuous medium is based on the velocity field that occurs in it after the explosion. This takes into account that in different places of the environment the explosion will be different, and for a correct representation of the process, the magnitude of the velocity is determined at any time.

Practical value. Analyzing mathematical models of explosive loading of a solid medium, it is necessary to note the conventionality of their construction. In fact, there are no clear boundaries between the zones or stages on which the process consideration is built. Moreover, there is still no generally accepted single point of view on the mechanism of explosive destruction. Nevertheless, the considered mathematical models, by virtue of their physical clarity and simplicity, can be used to qualitatively analyze the processes occurring during the explosive destruction of rocks.

Results. Of great practical interest is the problem of the boundary of a region with a certain crushing intensity. The solution of this problem causes certain difficulties, since one of the main factors of fragmentation is the structure of the mountain massif, which is characterized by a very large number of parameters, therefore the methods of continuum mechanics cannot give an exact solution.

Keywords: mathematical model, velocity field, explosion effect, crushing intensity.

UDC 004.056.52:334.78

Karabut N. O., Shvets D. V., Lukash S. O. Safe corporate network access

Purpose. To analyze existing techniques and means of improved security corporate network data and to identify weak links of hardware and software which can threaten the data security and network functionality. The data security in corporate networks is an urgent issue due to the rapid increase in the number of incidents of information technology. Many of them were confronted with a wide range of private, corporate and governmental interests.

Research methods. Existing methods for organizing a corporate network, as well as methods for improving security data transmission and storage are as follows: access control to network resources, network connection, (DMZ) demilitarized zone, network segmentation, service division into Front- and Back- ends. Comparative analysis of the corporate networks in view of design characteristics, their pros and cons is provided.

Scientific novelty. The methods of data protection in corporate networks that exist today, and further develop of new methods to improve the security of corporate systems, which reduce the vulnerability of corporate networks and increase the confidentiality of data transmitted, are analyzed.

Practical value. Main incidents and a number of possible solutions to the problem of data security in corporate networks and means of preventing attacks of cybercriminals on information systems, which increase the security of corporate networks are considered.

Results. Considered software and hardware means to ensure an appropriate security of corporate networks are of a great significance in the use today. The following analysis allows us to further synthesize new methods of protecting corporate networks.

Keywords: corporate networks, information security, data protection.

Карабут Н.О., Швець Д.В., Лукаш С.О. Організація безпечного доступу до сервісів корпоративної мережі

Мета. Метою даної роботи є аналіз існуючих засобів підвищення безпеки даних в корпоративних мережах та виявлення найбільш вразливих ланок в програмному та апаратному забезпеченні, що можуть нести загрозу безпеці даних та функціонуванню мережі. Питання захисту інформації в корпоративній мережі є нагальним питанням, тому що сьогодні спостерігається різке зростання кількості інцидентів в області інформаційної безпеки, що мають широке поширення і приймають загрозливий характер. Більшість з таких атак охоплюють широке коло приватних та корпоративних інтересів.

Методи дослідження. Розглянуто існуючі засоби організації корпоративних мереж та виявлено методи підвищення безпеки передачі та збереження даних, що поділяються на керування доступом до мережевих ресурсів та способами

підключення до них, використання демілітаризованої зони, сегментацію мережі, розподіл сервісів на Front-End і Back-End. Наведено порівняльні характеристики методів організації корпоративних мереж залежно від архітектурних відмінностей систем, розглянуто їх переваги та недоліки.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є аналіз методів захисту даних в корпоративних мережах, що існують на сьогоднішній день, та подальша розробка нових методів підвищення безпеки корпоративних систем, що дозволять зменшити вразливість корпоративних мереж та збільшити конфіденційність даних, що передаються нею.

Практична значимість. Розглянуто основні вектори атак на корпоративні мережі і засоби захисту від них. Проаналізовано низку можливих варіантів вирішення проблеми безпеки даних в корпоративних мережах та засобів унеможливлення атак зловмисників на інформаційні системи, зазначено способи їх використання, що дозволить підвищити рівень безпеки корпоративних мереж при їх застосуванні.

Результати. Розглянуті програмні та апаратні засоби забезпечення належного рівня безпеки корпоративних мереж дозволяють зменшити ризик атаки на інформаційну систему, що захищається, та їх аналіз дозволить в подальшому синтезувати нові методи захисту корпоративних мереж.

Ключові слова: корпоративні мережі, безпека, захист даних.

Карабунт Н.А., Швець Д.В., Лукаш С. А. Организация безопасного доступа к сервисам корпоративной сети

Цель. Целью данной работы является анализ существующих способов повышения безопасности данных в корпоративных сетях и выявления наиболее уязвимых звеньев в программном и аппаратном обеспечении, которые могут нести угрозу безопасности данных и функционированию сети. Вопрос защиты информации в корпоративной сети является актуальным вопросом, потому что сегодня наблюдается резкий рост количества инцидентов в области информационной безопасности, которые имеют широкое распространение. Большинство таких атак охватывают широкий круг частных и корпоративных интересов.

Методы исследования. Рассмотрены существующие средства организации корпоративных сетей и выявлены методы повышения безопасности передачи и хранения данных, которые делятся на управление доступом к сетевым ресурсам и способами подключения к ним, использование демилитаризованной зоны, сегментацию сети, распределение сервисов Front-End и Back-End. Приведены сравнительные характеристики методов организации корпоративных сетей в зависимости от архитектурных отличий систем, рассмотрены их преимущества и недостатки.

Научная новизна. Решение данной задачи составляет актуальность работы. Ее целью является анализ методов защиты данных в корпоративных сетях, существующих на сегодняшний день, и дальнейшая разработка новых методов повышения безопасности корпоративных систем, которые позволят уменьшить уязвимость корпоративных сетей и увеличить конфиденциальность передаваемых данных в ней.

Практическая значимость. Рассмотрены основные векторы атак на корпоративные сети и средства защиты от них. Проанализирован ряд возможных вариантов решения проблемы безопасности данных в корпоративных сетях и средств предотвращения атак злоумышленников на информационные системы, указано способы их использования, что позволит повысить уровень безопасности корпоративных сетей при их применении.

Результаты. Рассмотренные программные и аппаратные средства обеспечения надлежащего уровня безопасности корпоративных сетей позволяют уменьшить риск атаки на защищаемую информационную систему, их анализ позволит в дальнейшем синтезировать новые методы защиты корпоративных сетей.

Ключевые слова: корпоративные сети, безопасность, защита данных.

УДК 332.32

Сидоренко В.Д., Паламар А.Ю., Харевська В.В. Теоретико-методичні засади щодо встановлення меж земельних ділянок на які розповсюджується право земельного сервітуту

Мета. Мета статті полягає в обґрунтуванні та аналізі теоретичних і практичних рекомендацій при обстеженні, вишукуванні, топографо-геодезичних, картографічних, проектних та проектно-вишукувальних роботах, що виконуються з метою складання документації із землеустрою. У зв'язку із залученням у цивільний оборот земельних ділянок досить складним правовим явищем виступає система земельних сервітутів.

Сервітут є одним з видів прав на чужі речі, який може бути визначений як право обмеженого користування ними (майном), встановлене в інтересах певної особи. Сервітут належить до прав, що підпорядковують річ уповноваженій за ним особі (сервітуарію) у певному напрямі і з певною метою. Сервітут дозволяє сервітуарію користуватися природними властивостями речі, щодо якої він встановлений. Встановлення сервітуту обмежує реалізацію права власності на конкретну земельну ділянку. Підставою для цього є домовленість між власниками сусідніх земельних ділянок.

Методи дослідження. Вирішення поставлених цілей в даній статті здійснено за допомогою статистичного, описового та графічного методів.

Наукова новизна. Науково-теоретичний аналіз конструкції сервітутів, способів їх набуття, практики застосування відповідного законодавства свідчить про актуальність даного інституту речового права, особливо в умовах розвитку земельної реформи, реформи житлово-комунального господарства та будівництва, розвитку законодавчої бази про речові права на нерухоме майно. У даній статті висвітлено теоретичні та законодавчі засади земельного сервітуту, розкриті його поняття та особливості, правову сутність розглянуто сервітут як виду речових прав на чуже майно, що визначає практичну цінність даного дослідження.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що дана робота може використовуватися в організаціях, що мають безпосереднє відношення до земельних ресурсів.

Результати. Викладені основи нормативно-правового та методичного регулювання земельних відносин та здійснено комплекс робіт із землеустрою щодо встановлення частин меж земельних ділянок, на які поширюється право земельного сервітуту.

Ключові слова: сервітут, обмеження, земельна ділянка, земельний кодекс України, земельна реформа, раціональне використання землі, сусідство, земельний сервітут.

Сидоренко В.Д., Паламар А.Ю., Харевська В.В. Теоретико-методические основы по установлению границ земельных участков на которые распространяется права земельного сервитута

Цель. Цель статьи состоит в обосновании и анализе теоретических и практических рекомендаций при обследовании, изыскании, топографо-геодезических, картографических, проектных и проектно-изыскательских работах, выполняемых с целью составления документации по землеустройству. В связи с привлечением в гражданский оборот земельных участков достаточно сложным правовым явлением выступает система земельных сервитутов.

Сервитут является одним из видов прав на чужие вещи, который может быть определен как право ограниченного пользования ими (имуществом), установленное в интересах определенного лица. Сервитут относится к правам, что подчиняют дело уполномоченных за ним лицу (сервитуария) в определенном направлении и с определенной целью. Сервитут позволяет сервитуария пользоваться природными свойствами, по которой он установлен. Установление сервитута ограничивает реализацию права собственности на конкретный земельный участок. Основанием для этого является договоренность между владельцами соседних земельных участков.

Методы исследования. Решение поставленных целей в данной статье осуществлен с помощью статистического, описательного и графического методов.

Научная новизна. Научно-теоретический анализ конструкции сервитутов, способов их получения, практики применения соответствующего законодательства свидетельствует об актуальности данного института вещного права, особенно в условиях развития земельной реформы, реформы жилищно-коммунального хозяйства и строительства, развития законодательной базы о вещных правах на недвижимое имущество. В данной статье освещены теоретические и законодательные основы земельного сервитута, раскрыты его понятие и особенности, правовую сущность рассмотрено сервитут как вида прав на чужое имущество, определяет практическую ценность данного исследования.

Практическое значение полученных результатов заключается в том, что данная работа может использоваться в организациях, имеющих непосредственное отношение к земельным ресурсам.

Результаты. Изложены основы нормативно-правового и методического регулирования земельных отношений и осуществлен комплекс работ по землеустройству относительно установления частей границ земельных участков, на которые распространяется право земельного сервитута

Ключевые слова: сервитут, ограничения, земельный участок, земельный кодекс Украины, земельная реформа, рациональное использование земли, соседство, земельный сервитут.

Sydorenko V.D., Palamar A. Yu., Kharevska V.V. Theoretical-methodological principles on the land district borders in terms of the land service law

Purpose. To substantiate and analyze theoretical and practical recommendations for surveying, surveying, topographical and geodetic, cartographic, design and design work performed for the purpose of drawing up documentation on land management. In connection with the involvement in the civilian turnover of land plots fairly complex legal phenomenon is the system of land servitudes.

A servitude is one of the types of rights to someone else's things, which can be defined as the right of limited use of them (property), established in the interests of a certain person. The servitude refers to the rights that subordinate the thing promoted to him by a person (servitude) in a certain direction and with a certain purpose. The servitude allows the serviceman to use the natural properties of the thing for which it is installed. Establishment of servitude restricts the realization of the right of ownership to a specific plot of land. The reason for this is an agreement between the owners of neighboring land plots.

Research methods. Statistical, descriptive and graphical methods.

Scientific novelty. Theoretical and theoretical analysis of the design of servitudes, methods of their acquisition, and the practice of applying the relevant legislation testifies to the relevance of this institute of substantive law, especially in the context of the development of land reform, housing and communal services reform and construction, and the development of a legal framework for real property rights. This article covers the theoretical and legal principles of the land servitude, discloses its concepts and features, the legal essence is considered servitude as a kind of real rights to someone else's property, which determines the practical value of this study.

The practical value of the results obtained is that this work can be used in organizations that are directly related to land resources.

Results. The presentation of the basis of normative legal and methodological regulation of land relations and a complex of works on land management for the establishment of parts of the boundaries of land plots to which the right of land servitude extends.

Keywords: easement, restrictions, land, land code of Ukraine, land reform, rational use of land, neighborhood, land easement.

УДК 622.27

Колосов В.О., Маланчук З.Р., Письменний С.В., Ковбик К.М. Моделювання фізичних процесів гірського масиву в лабораторних умовах на статичних моделях

Мета. Метою даної роботи є встановлення закономірностей кількісного складу еквівалентного матеріалу при моделюванні фізичних процесів в лабораторних умовах на статичних моделях, які протікають в гірському масиві.

Методи дослідження. Для визначення якісного складу еквівалентного матеріалу існує багато методик, однак вони потребують удосконалення за рахунок визначення емпіричних формул, які дозволять значно скоротити час на підбір еквівалентного матеріалу. Слід врахувати, що геологічна характеристика порід Криворізького залізородного басейну суттєво відрізняється на кожній шахті, тому шляхом статистичної обробки отриманих раніше необхідно їх систематизувати.

Наукова новизна. Встановлено, що на якісний склад еквівалентного матеріалу суттєво впливають кількісні показники суміші. Так зі збільшенням кількості парафіну з 1,6 до 2,4% межа міцності еквівалентного матеріалу збільшується з 400-600 до 1700-2400 кг/см². Вперше встановлені залежності необхідної кількості чавуну в еквівалентному матеріалі від межі міцності еквівалентного матеріалу та відсоткового співвідношення парафіну та коефіцієнту Пуассона від кількості чавуну в еквівалентному матеріалі та відсоткового співвідношення парафіну.

Практична значимість. Отримані емпіричні залежності кількісного складу еквівалентного матеріалу за допомогою яких встановлюються фізико-механічні властивості еквівалентного матеріалу дозволяють зменшити кількість дослідів, та час на його приготування.

Результати. В залежності від необхідних фізико-механічних властивостей еквівалентного матеріалу, згідно отриманих емпіричних залежностей розраховуємо співвідношення чавуну до гранітної крихти. Так, при межі міцності еквівалентного матеріалу 1000 кг/см^2 кількість чавуну в еквівалентному матеріалі повинна складати 4 або 16%, а гранітної крихти відповідно 40 або 18%, при цьому коефіцієнт Пуассону складатиме 0,2 та 0,3 відповідно.

Ключові слова: еквівалентний матеріал, критерій подоби, моделювання, піщано-парафінова суміш, об'єкт, руда.

Колосов В.А., Маланчук З.Р., Письменний С.В., Ковбик К.М. Моделирование физических процессов горного массива в лабораторных условиях на статической модели

Цель. Целью данной работы является установление закономерностей количественного состава эквивалентного материала при моделировании физических процессов в лабораторных условиях на статических моделях, которые протекают в горном массиве.

Методы исследования. Для определения качественного состава эквивалентного материала существует много методов, однако они требуют совершенствования за счет определения эмпирических формул, которые позволят значительно сократить время на подбор эквивалентного материала. Следует учитывать, что геологическая характеристика пород Криворожского железорудного бассейна существенно отличается на каждой шахте, поэтому путем статистической обработки полученных ранее необходимо их систематизировать.

Научная новизна. Установлено, что на качественный состав эквивалентного материала существенно влияют количественные показатели смеси. Так с увеличением количества парафина с 1,6 до 2,4% предел прочности эквивалентного материала увеличивается с 400-600 до 1700-2400 кг/см^2 . Впервые установлены зависимости необходимого количества чугуна в эквивалентном материале от предела прочности эквивалентного материала и процентного соотношения парафина и коэффициента Пуассона от количества чугуна в эквивалентном материале и процентного соотношения парафина.

Практическая значимость. Полученные эмпирические зависимости количественного состава эквивалентного материала с помощью которых устанавливаются физико-механические свойства эквивалентного материала позволяют уменьшить количество опытов, и время на его приготування.

Результаты. В зависимости от требуемых физико-механических свойств эквивалентного материала, согласно установленных эмпирических зависимостей рассчитываем соотношение чугуна к гранитной крошки. Так, при пределе прочности эквивалентного материала 1000 кг / см^2 количество чугуна в эквивалентном материале должна составлять 4 или 16%, а гранитной крошки соответственно 40 или 18%, при этом коэффициент Пуассона составит 0,2 и 0,3 соответственно.

Ключевые слова: эквивалентный материал, критерий подобия, моделирования, песчано-парафиновая смесь, объект, руда.

Kolosov V.O., Malanchuk Z.R., Pysmennyi S.V., Kovbyk K.M. Rock massif physical processes in static models in laboratory conditions

Purpose. The purpose of this work is to establish the regularities of the quantitative composition of the equivalent material in the simulation of physical processes on static models occurring in a rock massif in laboratory conditions.

Research methods. To determine the qualitative composition of the equivalent material, there are many techniques, but they need to be improved by determining empirical formulas that will significantly reduce the time for the selection of equivalent material. The geological characteristics of the Kryvyi Rih iron ore basins are significantly different at each mine, therefore, it is necessary to systematize them by statistical processing of the obtained ones.

Scientific novelty. The qualitative composition of the equivalent material is significantly influenced by the quantitative indices of the mixture. So with an increase in the amount of paraffin from 1,6 to 2,4% the strength of the equivalent material increases from 400-600 to 1700-2400 kg / sm^2 . For the first time, the dependence of the required amount of iron in the equivalent material on the strength of the equivalent material and the percentage of paraffin and Poisson ratio on the amount of iron in the equivalent material and the percentage of paraffin is established.

Practical value. The empirical dependencies of the quantitative composition of the equivalent material are determined by means of which the physical and mechanical properties of the equivalent material are determined, which allows to reduce the number of experiments, and the time for its preparation.

Results. Depending on the necessary physical and mechanical properties of the equivalent material, according to the empirical dependences obtained, we calculate the ratio of pig iron to granite crumb. Thus, with the strength of the equivalent material 1000 kg / cm^2 , the amount of pig iron in the equivalent material should be 4 or 16%, and granite crumb 40 or 18% respectively, while the Poisson's ratio will be 0.2 and 0.3, respectively.

Keywords: equivalent material, similarity criterion, modeling, sand-paraffin mixture, object, ore.

УДК 622.14

Федоренко П.Й., Переметчик А.В., Подойніцина Т.О. Геометризація та підрахунок запасів залізрудних родовищ
Мета. У статті розглянуто методику геометризації залізрудних родовищ шляхом розробки гірничо-геометричного методу підрахунку їх запасів для забезпечення раціонального ведення гірничо-видобувних робіт на основі аналізу та удосконалення існуючих методів підрахунку запасів корисних копалин.

Методи дослідження. В основу методики дослідження було покладено геометризацію родовищ корисних копалин та створення геометричної моделі родовища. Для створення геометричної моделі покладу, крім основних дисциплін геологічного і гірничого циклу, необхідно знати проєкції, застосовувані при геометризації родовищ. На основі теоретичних уявлень були розвинені графічні способи побудови моделі, розроблені методи геометризації різних показників родовища. Для вирішення поставлених завдань застосовувався цілий ряд методів, що включають проведення теоретичних досліджень, лабораторні та промислові експерименти.

Наукова новизна. Розроблено методіку підрахунку запасів залізрудних родовищ корисних копалин на основі аналізу та удосконалення існуючих методів підрахунку запасів корисних копалин. В основу аналізу властивостей корисних копалин покладено інформаційний та гірничо-геометричний аналіз родовища, що дозволяє обрати оптимальну методіку підрахунку запасів.

Практичне значення. Розглянуто основні методіки оцінки гірничо-геометричних та геологічних даних при підрахунку запасів залізрудних родовищ корисних копалин і дана їх характеристика, що дозволяє класифікувати родовища або їх, планувати і управляти розвідувальними та гірничими роботами. Особливо важливим застосуванням геометризації родовищ залізрудних корисних копалин є підрахунок їх запасів для вирішення завдань перспективного та поточного планування з тим, щоб налагодити з максимальною ефективністю роботу гірничодобувного підприємства.

Результати. Обрана оптимальна методіка оцінки в умовах криворізьких залізрудних родовищ Для підрахунку запасів залізрудного родовища був обраний автоматизований метод підрахунку об'ємів корисних копалини і розкритих порід з використанням ГІС К-Mine. ГІС К-Mine містить велику кількість підпрограм для виконання вказаних обчислень. Модуль дозволяє виконувати розрахунки об'ємів різними методами (метод погоризонтних планів, метод поперечних розрізів, модифікований метод поперечних розрізів з використанням триангуляційних мереж тощо).

Ключові слова: геометризація, методи підрахунку запасів, гірничо-геометричний метод, модель родовища, підрахунок запасів, перспективне та поточне планування.

Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницына Т.А. Геометризация и подсчет запасов железорудных месторождений

Цель. В статье рассмотрена методика геометризации железорудных месторождений путем разработки горно-геометрического метода подсчета их запасов для обеспечения рационального ведения горнодобывающих работ на основе анализа и усовершенствования существующих методов подсчета запасов полезных ископаемых.

Методы исследования. В основу методики исследования было положено геометризацию месторождений полезных ископаемых и создание геометрической модели месторождения. Для создания геометрической модели залежи, помимо основных дисциплин геологического и горного цикла, необходимо знать проекции, применяемые при геометризации месторождений. На основе теоретических представлений были развиты графические способы построения модели, разработаны методы геометризации различных показателей месторождения. Для решения поставленных задач применялся целый ряд методов, включающих проведение теоретических исследований, лабораторные и промышленные эксперименты.

Научная новизна. Разработана методика подсчета запасов железорудных месторождений полезных ископаемых на основе анализа и совершенствования существующих методов подсчета запасов полезных ископаемых. В основу анализа свойств полезных ископаемых положено информационный и горно-геометрический анализ месторождения, позволяет выбрать оптимальную методику подсчета запасов.

Практическое значение. Рассмотрены основные методики оценки горно-геометрических и геологических данных при подсчете запасов железорудных месторождений полезных ископаемых и дана их характеристика, позволяющая классифицировать месторождения или их, планировать и управлять разведывательными и горными работами. Особенно важным применением геометризации месторождений железорудных полезных ископаемых является подсчет их запасов для решения задач перспективного и текущего планирования с тем, чтобы наладить с максимальной эффективностью работу горнодобывающего предприятия.

Результаты. Выбранная оптимальная методика оценки в условиях криворожских железорудных месторождений Для подсчета запасов железорудного месторождения был избран автоматизированный метод подсчета объемов полезных ископаемых и вскрышных пород с использованием ГИС К-Mine. ГИС К-Mine содержит большое количество подпрограмм для выполнения указанных вычислений. Модуль позволяет выполнять расчеты объемов различными методами (метод погоризонтных планов, метод поперечных разрезов, модифицированный метод поперечных разрезов с использованием триангуляционных сетей и т.д.).

Ключевые слова: геометризация, методы подсчета запасов, горно-геометрический метод, модель месторождения, подсчет запасов, перспективное и текущее планирование.

Fedorenko P.Yo., Peremetchyk A.V., Podoinitsyna T.A. Geometry and calculation of iron ore reserves

Purpose. To discuss the method of geometrization of iron ore deposits by developing a mining-geometric method for calculating their reserves to ensure the rational management of mining operations based on the analysis and improvement of existing methods for calculating mineral reserves.

Research methods. The basis of the research methodology was the geometrization of mineral deposits and the creation of a geometric model of the deposit. To create a geometrical model of a deposit, in addition to the main disciplines of the geological and mining cycle, it is necessary to know the projections used in the geometrization of deposits. On the basis of theoretical concepts, graphic methods for constructing a model were developed, methods for geometrization of various field indicators were developed. To solve the problems posed, a number of methods were applied, including theoretical studies, laboratory and industrial experiments.

Scientific novelty. A methodology has been developed for calculating reserves of iron ore mineral deposits based on the analysis and improvement of existing methods for calculating mineral reserves. The basis of the analysis of the properties of minerals laid information and mining and geometric analysis of the field, allows you to select the optimal method of calculating reserves.

Practical value. The main methods for assessing the mining-geometric and geological data when calculating the reserves of iron ore mineral deposits are considered and their characteristics are given, which allows to classify the deposits or them, plan and manage exploration and mining. A particularly important application of the geometrization of iron ore deposits is the calculation of their reserves for solving the problems of prospective and current planning in order to organize the mining enterprise with maximum efficiency.

Results. Selected optimal assessment methodology in the Krivoy Rog iron ore deposits For calculating the reserves of the iron ore deposit, an automated method for calculating the volume of minerals and overburden using the GIS K-Mine was

chosen. GIS K-Mine contains a large number of subroutines to perform the specified calculations. The module allows you to perform volume calculations using various methods (the method of horizontal plans, the method of transverse cuts, a modified method of transverse cuts using triangulation networks, etc.).

Keywords: geometrization, methods of reserves calculation, mining-geometric method, field model, reserves calculation, prospective and current planning.

УДК 624.137

Тимченко Р.А., Кришко Д.А., Савенко В.О. Расчет подпорной стены со структурной поверхностью с учетом ее совместной работы с грунтом

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.

Методы исследования. При небольших нагрузках грунт переходит в упругопластическое состояние, поэтому в расчетах необходимо учитывать этот фактор. Используется теория пластического течения с упрочнением, так как деформационные теории при сложном нагружении неприменимы. В такой постановке рассматриваемая здесь задача исследуется впервые. Интерес представляет расчет подпорных стен со структурной поверхностью с учетом ее совместной работы с грунтом. Существующие конструкции подпорных стен не рассчитаны на дополнительные усилия от горизонтального сдвижения грунта, который вызывает концентрацию напряжений в нижней части лицевой плиты, что соответственно приводит к разрушению конструкции. В качестве исследуемой стены принята подпорной стена со структурной поверхностью, а именно монолитная подпорная стена уголкового типа, которая имеет вертикальный и горизонтальный элементы на поверхности, которых с контактной стороны, размещены опорные части и пустоты в виде усеченных пирамид одинакового размера и направленных меньшим основанием вглубь вертикального и фундаментного элементов. Расчет подпорной стены со структурной поверхностью выполнялся в соответствии с действующими нормативными документами, расчетное сопротивление грунта определялось как для длительно нагруженного основания.

Научная новизна. Разработка новых конструктивных решений подпорных стен способных воспринимать дополнительное воздействие от неравномерно деформируемого основания.

Практическая значимость. Выполненные расчеты позволяют изучить процесс контактного взаимодействия подпорной стены и деформируемого основания, а также провести математическое моделирование их совместной работы.

Результаты. Результаты расчетов указывают на то, что в подпорной стене со структурной поверхностью идет снижение усилий (изгибающий момент, поперечная сила) в ее элементах.

Ключевые слова: подпорные стены со структурной поверхностью; расчет подпорных стен; расчетные усилия, сопротивление грунта.

Тімченко Р.О., Кришко Д.А., Савенко В.О. Розрахунок підпірної стіни зі структурної поверхнею з урахуванням її спільної роботи з грунтом

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 важливим.

Методи дослідження. При невеликих навантаженнях ґрунт переходить в пружнопластичне стан, тому в розрахунках необхідно враховувати цей фактор. Використовується теорія пластичної течії з зміцненням, так як деформаційні теорії при складному навантаженні не застосовні. У такій постановці розглянута тут задача досліджується вперше. Інтерес представляє розрахунок підпірних стін зі структурною поверхнею з урахуванням її спільної роботи з ґрунтом. Існуючі конструкції підпірних стін не розраховані на додаткові зусилля від горизонтального зрушення ґрунту, який викликає концентрацію напруг в нижній частині лицьового плити, що відповідно призводить до руйнування конструкції. У якості досліджуваної стіни прийнята підпірна стіна зі структурною поверхнею, а саме монолітна підпірна стіна кутникового типу, яка має вертикальні і горизонтальні елементи на поверхні яких, з контактною стороною, розміщені опорні частини і порожнечі у вигляді усічених пірамід однакового розміру і спрямованих меншими основами вглиб вертикального і фундаментного елементів. Розрахунок підпірної стіни зі структурною поверхнею виконувався відповідно до чинних нормативних документів, розрахунковий опір ґрунту визначалося як для тривало навантаженої основи.

Наукова новизна. Розробка нових конструктивних рішень підпірних стін здатних сприймати додатковий вплив від основи, що нерівномірно деформується.

Практична значимість. Виконані розрахунки дозволять вивчити процес контактною взаємодії підпірної стіни і основи, що деформується, а також провести математичне моделювання їх спільної роботи.

Результати. Результати розрахунків вказують на те, що в підпірній стіні зі структурною поверхнею йде зниження зусиль (вигинаючий момент, поперечна сила) в її елементах.

Ключові слова: підпірні стіни зі структурною поверхнею; розрахунок підпірних стін; розрахункові зусилля, опір ґрунту.

Timchenko R.A., Krishko D.A., Savenko V.O. Calculation of the retaining wall with a structural surface taking into account its joint work with the soil

Purpose. Designing optimal construction solutions under specific operating conditions. For retaining walls used in the undermined areas with horizontal and vertical ground movements, this task is particularly important.

Research methods. At low loads, the soil goes into an elastoplastic state; therefore, this factor must be taken into account in the calculations. The theory of plastic flow with hardening is used, since deformation theories are not applicable under complex loading. In this formulation, the problem considered here is studied for the first time. Of interest is the calculation of retaining walls with a structural surface with regard to its joint work with the ground. The existing structures of retaining

walls are not designed for additional efforts from the horizontal displacement of the soil, which causes a concentration of stresses in the lower part of the face plate, which accordingly leads to the destruction of the structure.

Scientific novelty. Development of new structural solutions for retaining walls capable of perceiving additional effects from an unevenly deformable base.

Practical value. The calculations allow to study the contact interaction of the retaining wall and the deformable base, as well as to carry out mathematical modeling of their joint work.

Results. The results of the calculations indicate that in a retaining wall with a structural surface there is a decrease in the forces (bending moment, shear force) in its elements.

Keywords: retaining walls with structural surface; calculation of retaining walls; calculated forces, soil resistance.

УДК 621.313.13

Касаткіна І. В., Власюк В. П. Особливості корекції статичних характеристик вентильних двигунів із зворотним зв'язком за струмом

Мета. Дослідження можливостей покращення статичних характеристик двофазного вентильного двигуна з зворотним зв'язком за фазними струмами, котрі формує його комутатор. Отримання аналітичних залежностей, що пов'язують передатні функції каналів датчика положення ротора з амплітудно – частотних, з амплітудно – фазовими характеристиками, а також параметрами схеми заміщення двигуна, залежності електромагнітного моменту вентиального двигуна від значення вагового коефіцієнта.

Методи дослідження. Досліджуються способи параметричної корекції, які покращують статичні характеристики досліджуваного вентиального двигуна. Вони слугували підґрунтям для одержання математичних залежностей, що описують можливості зменшення часу датчика положення ротора на порядок і спрощує будову і налаштування електронних вузлів.

Наукова новизна. Встановлено залежності електромагнітного моменту вентиального двигуна від значення вагового коефіцієнта та часу вентиального двигуна, що забезпечує спрощення будову і налаштування електронних вузлів. Розв'язання даного завдання складає актуальність даної роботи. Її метою є математичне моделювання передатних функцій фільтрів низької частоти, розрахунок сталих часу для фільтрів низької частоти, амплітудно – частотних та фазочастотних характеристик для вентиального двигуна.

Практична значимість. Практична цінність отриманих статичних характеристик вентиального двигуна полягає у можливості побудови набагато точніших систем на основі вентильних двигунів з істотним спрощенням електричних схем та налаштуванням відповідних ним електронним вузлам. В результаті чого зменшуються капітальні затрати на обслуговування даного вентиального двигуна та його системи керування, та збільшує економічну ефективність самого підприємства.

Результати. Отримані статичні характеристики вентиального двигуна можуть зменшити постійні часу фільтру низьких частот без збільшення відносної амплітуди пульсацій вихідної напруги датчика положення ротора та зменшення постійної часу датчика положення ротора майже на порядок.

Ключові слова: вентильний двигун зі зворотним зв'язком за фазними струмами, датчик положення ротора, синусно – косинусний обертовий трансформатор, фазочутливий випрямляч, фільтр низьких частот.

Касаткіна І. В., Власюк В. П. Особенности коррекции статических характеристик вентильных двигателей с обратной связью по току

Цель. Исследование возможностей улучшения статических характеристик двухфазного вентиального двигателя с обратной связью по фазным токам, которые формирует его коммутатор. Получение аналитических зависимостей, связывающих передаточные функции каналов датчика положения ротора с амплитудно - частотными, с амплитудно - фазовыми характеристиками, а также параметрами схемы замещения двигателя, зависимости электромагнитного момента вентиального двигателя от значения весового коэффициента.

Методы исследования. Исследуются способы параметрической коррекции, которые улучшают статические характеристики исследуемого вентиального двигателя. Они служили основой для получения математических зависимостей, описывающих возможности уменьшения времени датчика положения ротора на порядок и упрощает устройство и настройки электронных узлов.

Научная новизна. Установлены зависимости электромагнитного момента вентиального двигателя от значения весового коэффициента и времени вентиального двигателя, что обеспечивает упрощение строения и настройки электронных узлов. Решение данной задачи составляет актуальность данной работы. Ее целью является математическое моделирование передаточных функций фильтров низкой частоты, расчет постоянных времени для фильтров низкой частоты, амплитуды - частотных и фазо-частотных характеристик для вентиального двигателя.

Практическая значимость. Практическая ценность полученных статических характеристик вентиального двигателя заключается в возможности построения гораздо более точных систем на основе вентиальных двигателей с существенным упрощением электрических схем и настройкой соответствующих им электронным узлам. В результате чего уменьшаются капитальные затраты на обслуживание данного вентиального двигателя и его системы управления, и увеличивает экономическую эффективность самого предприятия.

Результаты. Полученные статические характеристики вентиального двигателя могут уменьшить постоянные времени фильтра низких частот без увеличения относительной амплитуды пульсаций выходного напряжения датчика положения ротора и уменьшения постоянной времени датчика положения ротора почти на порядок.

Ключевые слова: вентиальный двигатель с обратной связью по фазным токам, датчик положения ротора, синусно - косинусный вращающийся трансформатор, фазочувствительные выпрямитель, фильтр низких частот.

Kasatkina I. V., Vlasiuk V.P. Correction of the static characteristics of current-feedback valve engines

Purpose. Investigation of the possibilities of improving the static characteristics of a two-phase valve motor with feedback on the phase currents forming its switch. Obtaining analytical dependencies, which relate transfer functions of channels of the sensor of the position of the rotor with amplitude - frequency, with amplitude - phase characteristics, as well as the

parameters of the engine replacement scheme, the dependence of the electromagnetic torque of the valve engine on the value of the weight coefficient.

Research methods. The methods of parametric correction, which improve the static characteristics of the investigated valve engine, are studied. They served as the basis for obtaining mathematical dependencies that describe the possibilities of reducing the rotor position sensor time in order and simplifies the structure and configuration of electronic nodes.

Scientific novelty. The dependencies of the electromagnetic torque of the valve motor on the value of the weight factor and the time of the valve motor, which provides simplification of the structure and setting of electronic units, are established. The solution to this problem is the relevance of this work. Its purpose is mathematical simulation of transfer functions of low frequency filters, calculation of the time constant for low frequency filters, amplitude - frequency and phase - frequency characteristics for the valve engine.

Practical significance. The practical value of the static characteristics of the valve engine is the possibility of constructing much more precise systems based on valve engine with a significant simplification of electrical circuits and the configuration of their corresponding electronic nodes. As a result, the capital costs of servicing this valve engine and its control system are reduced, and it increases the economic efficiency of the enterprise itself.

Results. The obtained static characteristics of the valve engine can reduce the constant time of the low pass filter without increasing the relative amplitude of the pulsations of the output voltage of the rotor position sensor and reducing the rotor's position constant for almost an order of magnitude.

Keywords: valve engine with phase feedback, rotor position sensor, sinusoidal cosine rotary transformer, phase - sensitive rectifier, low pass filter.

УДК 622.27: 622.271.4

Жуков С.А., Луценко С.А. Исследование влияния параметров системы разработки на отставание вскрышных работ в карьере

Цель. Усовершенствовать научно-методическую базу в области проектирования и планирования открытых горных работ путем разработки новых и корректировки существующих методов определения параметров системы разработки. Обосновать влияние метода определения ширины рабочей площадки, учитывающий ее взаимосвязь с длиной активного фронта горных работ и производительностью по руде на отставание по вскрыше.

Методы исследования. Исследование влияния параметров системы разработки на отставание вскрышных работ необходимо осуществлять с учетом взаимосвязи ширины рабочей площадки и длины фронта горных работ, которые обеспечивают норматив готовых к выемке запасов для принятой производительности карьера по руде. При этом взаимосвязь параметров системы разработки учитывается с помощью графических методов горно-геометрического анализа карьерного поля.

Научная новизна. Несоответствие фактической длины активного фронта горных работ длине фронта принятой при определении максимально возможной производительности карьера по руде и составлении перспективного календарного плана горных работ без учета взаимосвязи ширины рабочей площадки и длины активного фронта горных работ, обеспечивающих норматив готовых к выемке запасов приводит к нарушению равенства скоростей перемещения рудных и нерудных уступов и соответственно к накоплению отставания вскрышных работ в карьере.

Практическая значимость. Результаты выполненных исследований могут быть использованы проектными организациями и горнодобывающими предприятиями при определении производительности карьера по руде.

Результаты. Отставанием вскрышных работ в карьере необходимо считать невыполнение объемов вскрыши, которые рассчитываются относительно положения горных работ в карьере, обеспечивающее норматив готовых к выемке запасов для заданной производительности карьера по руде, с учетом ее изменения на конец каждого года эксплуатации карьера.

Ключевые слова: открытые горные работы, производительность карьера по руде, режим горных работ, длина активного фронта горных работ, отставание вскрышных работ.

Жуков С.О., Луценко С.О. Дослідження впливу параметрів системи розробки на відставання розкривних робіт у кар'єрі

Мета. Удосконалити науково-методичну базу в області проектування і планування відкритих гірничих робіт шляхом розробки нових і коригування існуючих методів визначення параметрів системи розробки. Обґрунтувати вплив методу визначення ширини робочого майданчика, що враховує її взаємозв'язок з довжиною активного фронту гірничих робіт і продуктивністю за рудою на відставання за розкривом.

Методи дослідження. Дослідження впливу параметрів системи розробки на відставання розкривних робіт необхідно здійснювати з урахуванням взаємозв'язку ширини робочого майданчика і довжини фронту гірничих робіт, які забезпечують норматив готових до виймання запасів для прийнятої продуктивності кар'єру за рудою. При цьому взаємозв'язок параметрів системи розробки враховується за допомогою графічних методів гірничо-геометричного аналізу кар'єрного поля.

Наукова новизна. Невідповідність фактичної довжини активного фронту гірничих робіт довжині фронту прийнятої при визначенні максимально можливої продуктивності кар'єру за рудою і складанні перспективного календарного плану гірничих робіт без урахування взаємозв'язку ширини робочого майданчика і довжини активного фронту гірничих робіт, що забезпечують норматив готових до виймання запасів призводить до порушення рівності швидкостей переміщення рудних і нерудних уступів і відповідно до накопичення відставання розкривних робіт в кар'єрі.

Практична значимість. Результати виконаних досліджень можуть бути використані проектними організаціями і гірничодобувними підприємствами при визначенні продуктивності кар'єру за рудою.

Результати. Відставанням розкривних робіт в кар'єрі необхідно вважати недовиконання обсягів розкриву, які розраховуються щодо положення гірничих робіт в кар'єрі, що забезпечує норматив готових до виймання запасів для заданої продуктивності кар'єру за рудою, з урахуванням її зміни на кінець кожного року експлуатації кар'єру.

Ключові слова: відкриті гірничі роботи, продуктивність кар'єру за рудою, режим гірничих робіт, довжина активного фронту гірничих робіт, відставання розкривних робіт.

Zhukov S.A., Lutsenko S.A. Impact of development system parameters on lagging of stripping works in the quarry

Purpose. To improve the research and methodological base in designing and planning fields of open pit mining by developing new and adjusting existing methods for determining the parameters of development system. To justify the impact of the working platform width determination method that takes into account its relationship with the length of the mining operations active front and ore productivity on the lag in stripping.

Research methods. The analysis of the development system parameters impact on stripping operations lagging shall be carried out by taking into account the relationship between the width of the working platform and the length of the mining operations front, which provide for ready-for-excitation standard stocks based on approved quarry productivity on ore. The interrelation of the development system parameters is recorded by means of graphical methods of quarry field mining and geometric analysis.

Scientific novelty. The discrepancy between the actual length of the mining operations active front and the length of the front adopted when determining the maximum possible quarry performance on ore and drawing up a prospective mining operations schedule without considering the relationship between the width of the working platform and the length of the mining operations active front that ensure the ready-for-excitation standard stocks, leads to the imbalance of equality between the movement speed of ore and non-metallic banks and, accordingly, to the accumulation of stripping operations lagging in the quarry.

Practical significance. The results of the performed analyses can be used by engineering organizations and mining enterprises when determining quarry productivity on ore.

Results. The lagging of the stripping operations in the quarry should be considered as the shortfall in stripping volumes, which are calculated with respect to the position of mining operations in the quarry, providing ready-for-excitation standard stocks based on specified quarry productivity on ore, taking into account its change at the end of each year of quarry operation.

Keywords: quarry mining, quarry productivity on ore, mining operations mode, active front of mining operations, lagging of stripping operations.

УДК 681.5:622.2

Моркун В. С., Тронь В. В., Гапоненко И. А., Паранюк Д. И. Идентификация структуры горной породы в процессе бурения на основе ультразвуковых измерений

Целью исследования является оптимизация технологии и повышение эффективности автоматизированного управления бурением скважин в процессе добычи железосодержащих руд, представленных минералого-технологическими разновидностями.

Методы исследования. В работе использованы следующие методы: анализ отечественного и зарубежного опыта; методы аналитического конструирования и компьютерного моделирования; методы численного моделирования для синтеза и анализа математической модели; методы математической статистики и теории вероятности для обработки результатов экспериментов.

Научная новизна заключается в совершенствовании метода структурной и параметрической идентификации модели геологической структуры породы на основе косвенной информации об изменении в процессе бурения скважин параметров сформированного соответствующим образом ультразвукового поля в комплексе с параметрами буровой установки (скорость бурения, крутящий момент, энергетические характеристики).

Практическое значение состоит в том, что использование предложенного подхода позволяет получить дополнительную информацию о концентрации и структуре распределения ферромагнитного компонента в горной породе. Для его использования не требуется наличие скважинной жидкости, или специальных устройств ввода упругих колебаний в горный массив, что способствует расширению сферы его применения.

Результаты. Идентификация геологической структуры скважины будет успешной только в том случае, если будет использоваться максимальное количество данных о процессе бурения, а обучающее множество будет включать в себя полный объем информации обо всех минеральных образованиях, которые могут встретиться в процессе проходки скважины. Зависимость амплитуды от частоты результирующих упругих колебаний, которые формируются в горном массиве, определяется содержанием и структурой распределения ферромагнитного компонента в горном массиве, а также физико-механическими характеристиками горной породы. Эта зависимость является усредненной характеристикой содержания и структуры распределения ферромагнитного компонента в горной породе, физико-механических характеристик и состояния горного массива, то есть его минералогического состава. Для того чтобы на основании полученных результатов измерений идентифицировать минералогическую разновидность исследуемой ферромагнитной горной породы предварительно проводят аналогичные измерения на эталонных образцах.

Ключевые слова: идентификация, математическая модель, бурение скважин, ультразвуковые измерения.

Моркун В. С., Тронь В. В., Гапоненко И. А., Паранюк Д. И. Идентифікація структури гірської породи у процесі буріння на основі ультразвукових вимірювань

Метою дослідження є оптимізація технології та підвищення ефективності автоматизованого управління бурінням свердловин в процесі видобутку залізовмісних руд, представлених мінералого-технологічними різновидами.

Методи дослідження. У роботі використані наступні методи: аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду; методи аналітичного конструювання та комп'ютерного моделювання; методи чисельного моделювання для синтезу та аналізу математичної моделі; методи математичної статистики і теорії ймовірності для обробки результатів експериментів.

Наукова новизна полягає в удосконаленні методу структурної і параметричної ідентифікації моделі геологічної структури породи на основі непрямой інформації про зміну в процесі буріння свердловин параметрів сформованого відповідним чином ультразвукового поля в комплексі з параметрами бурової установки (швидкість буріння, крутний момент, енергетичні характеристики).

Практичне значення полягає в тому, що використання запропонованого підходу дозволяє отримати додаткову інформацію про концентрацію і структурі розподілу феромагнітного компонента в гірській породі. Для його використання не потрібна наявність свердловини рідини, або спеціальних пристроїв введення пружних коливань в гірський масив, що сприяє розширенню сфери його застосування.

Результати. Ідентифікація геологічної структури свердловини буде успішною тільки в тому випадку, якщо буде використовуватися максимальна кількість даних про процес буріння, а навчальна множина буде включати в себе повний обсяг інформації про всі мінеральні утворення, які можуть зустрітися в процесі проходки свердловини. Залежність амплітуди від частоти результуючих пружних коливань, які формуються в гірському масиві, визначається вмістом і структурою розподілу феромагнітного компонента в гірському масиві, а також фізико-механічними характеристиками гірської породи. Ця залежність є усередненою характеристикою вмісту і структури розподілу феромагнітного компонента в гірській породі, фізико-механічних характеристик і стану гірського масиву, тобто його мінералогічного складу. Для того щоб на підставі отриманих результатів вимірювань ідентифікувати мінералогічний різновид досліджуваної феромагнітної гірської породи попередньо проводять аналогічні вимірювання на еталонних зразках.

Ключові слова: ідентифікація, математична модель, буріння свердловин, ультразвукові вимірювання

Morkun V.S., Tron V.V., Gaponenko I.A., Paranyuk D.I. Identification of rock structure in the drilling process based on ultrasonic measurements

The purpose of the study is to optimize the technology and increase the efficiency of automated drilling control in the process of extracting iron ores represented by mineralogical and technological varieties.

Research methods. The following methods were used in the work: analysis of domestic and foreign experience; methods of analytical design and computer modeling; numerical modeling methods for the synthesis and analysis of a mathematical model; methods of mathematical statistics and probability theory for processing the results of experiments.

The scientific novelty consists in improving the method of structural and parametric identification of the rock geological structure model based on indirect information about the change in the borehole drilling process of the parameters of an ultrasonic field formed in a suitable manner along with the drilling rig parameters (drilling speed, torque, energy characteristics).

The practical significance is that the use of the proposed approach enables obtaining auxiliary information on concentration and structure of the ferromagnetic component in the rock, i.e. its mineralogical type. There is no need to use any borehole liquid or special devices of introducing elastic oscillations into the rock massif, this expanding the area of the method application.

Results. The identification of the geological structure will be successful only if the maximum number of data on drilling will be used and the training set will include the full amount of data on all mineral formations that can occur during drilling a borehole. The dependence of the amplitude on the frequency of the resulting elastic vibrations, which are formed in the rock mass, is determined by the content and distribution structure of the ferromagnetic component in the rock mass, as well as the physical and mechanical characteristics of the rock. This dependency is an averaged characteristic of the content and distribution structure of the ferromagnetic component inside the rock massif, physical and mechanical properties and the rock massif condition, i.e. its mineralogical composition. Similar preliminary measurements of reference samples are made to identify mineralogical types of the ferromagnetic rock under study on the basis of obtained measurement results.

Keywords: identification, mathematical model, borehole drilling, ultrasonic measurements

УДК: 519.95:621.3

Рудь Ю. С., Белоножко В. Ю. Обоснование критерия и разработка метода оценки сложности структуры технологических систем на стадии их проектирования

Технологические системы современных промышленных предприятий относятся к классу сложных систем. При разработке технологических систем возникает задача выбора из нескольких возможных систем такой, которая при наименьших затратах обеспечивает получение заданного эффекта. Важной проблемой, возникающей при анализе вариантов технологических систем, является оценка их сложности, так как сложность структуры разных систем, при выполнении ими одинаковых функций, связана с целым рядом технических, эксплуатационных, экономических и других важных качеств. Несмотря на важность и актуальность проблемы оценки сложности технологических систем, она не нашла достаточно полного практического решения ни в одной из отраслей наук.

Целью данной работы является разработка методов оценки сложности структуры технологических систем на основе теоретических положений, предложенных в работах проф. Ю.С. Рудь.

На базе этих положений предлагается специальный количественный критерий и метод оценки сложности структуры технологических систем.

Научной новизной является то, что элемент системы имеет один "вход" и один "выход"; состояние выхода элемента однозначно определяется состоянием его входа; сложность структуры единичного элемента равна единице; сложность системы, состоящей из n элементов, при $n \rightarrow \infty$ стремится к бесконечности; сложность структуры определяется количеством элементов n , числом связей между ними n_c и внешней средой $n_{c,вн}$, а также иерархическим уровнем I_0 системы.

Практическим значением положений статьи является то, что применение на практике разработанного метода позволяет решить задачу количественной оценки сложности структуры технологических систем различного функционального назначения, обеспечивает возможность выполнения научно обоснованного выбора оптимального варианта структуры технологической системы, позволяет вести обработку информации о системах на ЭВМ.

Результатом применения разработанного в статье специального количественного критерия и метода оценки сложности структур технологических систем является оценка сложности структуры технологических систем агломерационных фабрик Криворожского бассейна.

Ключевые слова: технологические системы, сложность структуры технологических систем, иерархический уровень элемента, агломерационные фабрики.

Рудь Ю. С., Белоножко В. Ю. Обґрунтування критерію і розробка методу оцінки складності структури технологічних систем на стадії їх проектування

Технологічні системи сучасних промислових підприємств відносяться до класу складних систем. При розробці технологічних систем виникає завдання вибору з декількох можливих такої системи, яка при найменших витратах забезпечує отримання заданого ефекту. Важливою проблемою, яка виникає при аналізі варіантів технологічних систем, є оцінка їх складності, так як складність структури різних систем, при виконанні ними однакових функцій, пов'язана з цілим рядом технічних, експлуатаційних, економічних та інших важливих якостей. Незважаючи на важливість і актуальність проблеми оцінки складності технологічних систем, вона не знайшла достатньо повного практичного вирішення в жодній з галузей наук.

Метою даної роботи є розробка методів оцінки складності структури технологічних систем на основі теоретичних положень, запропонованих у роботах проф. Ю.С. Рудь.

На базі цих положень пропонується спеціальний кількісний критерій і метод оцінки складності структури технологічних систем.

Науковою новизною є те, що елемент системи має один "вхід" і один "вихід"; стан виходу елемента однозначно визначається станом його входу; складність структури одиничного елемента дорівнює одиниці; складність системи, що складається з n елементів, при $n \rightarrow \infty$ прагне до нескінченності; складність структури визначається кількістю елементів n , числом зв'язків між ними n_c і зовнішнім середовищем $n_{c.вн}$, а також ієрархічним рівнем I_0 системи.

Практичним значенням положень статті є те, що застосування на практиці розробленого методу дозволяє вирішити задачу кількісної оцінки складності структури технологічних систем різного функціонального призначення, забезпечує можливість виконання науково обґрунтованого вибору оптимального варіанта структури технологічної системи, дозволяє вести обробку інформації про системи на ЕОМ.

Результатом застосування розробленого в статті спеціального кількісного критерію і методу оцінки складності структури технологічних систем є оцінка складності структури технологічних систем металургійних заводів Криворізького басейну.

Ключові слова: технологічні системи, складність структури технологічних систем, ієрархічний рівень елемента, агломераційні фабрики.

Rud Yu. S., Belonozhko V. Yu. Criteria and method for estimating structural complexity of technological systems in the design phase

Technological systems of modern industrial enterprises belong to a class of complex systems. In the development of technological systems, the problem arises in the choice of several possible systems that provides the desired effect at the lowest cost. An important issue in the analysis of variants of technological systems is the assessment of their complexity, as the complexity of the structure of different systems, in carrying out the same functions associated with a number of technical, operational, economic and other important qualities. Despite the importance and urgency of the problem of assessing the complexity of technological systems, it did not find enough full of practical solutions in any of the branches of science.

The purpose of this work is to develop a method for assessing the structural complexity of the technological systems based on the theoretical assumptions proposed in the works of prof. Yu.S. Rud.

On the basis of these provisions, a special quantitative criterion and a method for assessing the complexity of the structure of technological systems are proposed.

The scientific novelty is that the system element has one "input" and one "output"; the output state of the element is uniquely determined by the state of its input; the complexity of the structure of a single element is equal to one; the complexity of the system consisting of n elements, with $n \rightarrow \infty$ tends to infinity; the complexity of the structure is determined by the number of elements n , the number of connections between them n_c and the external environment $n_{c.вн}$, and also the hierarchical level I_0 of the system.

Practical value. The practical application of the developed method allows to solve the problem of quantitative assessment of the complexity of the structure of technological systems of various functional purposes, provides the ability to make a scientifically based choice of the optimal variant of the structure of the technological system, allows to process information about systems on a computer.

The result of the application of the special quantitative criterion developed in the article and the method for assessing the complexity of the structure of technological systems is an assessment of the complexity of the structure of technological systems of the sinter plants of the Krivoy Rog basin.

Keywords: technological systems, the complexity of the structure of technological systems, the hierarchical level of the element, agglomeration factories.

УДК 622.272:622.646:681.3.06

Косенко А. В., Тарасютін В. М., Шепель О. Л. Комп'ютерне моделювання інтенсифікації технологічного процесу випуску руди під обваленими пустими породами

Мета. Встановити кількісні залежності величини тиску в межах фігури випуску від інтенсивності технологічного процесу випуску для різних параметрів очисної панелі та об'ємної ваги обвалених пустих порід, що налягають.

Методи дослідження. Чисельне моделювання високо-інтенсивного технологічного процесу випуску руди під обваленими породами; аналітичний метод дослідження.

Наукова новизна. Набула подальшого розвитку залежність зміни величини тиску у межах фігури випуску, що базується на урахуванні інтенсивності протікання технологічного процесу випуску, умов контакту очисної панелі з не обваленим рудним або породним масивом та обваленими пустими породами, які вміщують очисну панель та їх об'ємної ваги, яка на відміну від відомої враховує розташування очисної панелі за потужністю рудного покладу, глибину ведення очисних робіт і клас розробки покладу та знаходиться у прямій пропорційній логарифмічній залежності від інтенсивності протікання технологічного процесу випуску, еквівалентної ширини очисної панелі, яка характеризує умови її контакту з обваленими пустими породами, що вміщують рудний масив та їх об'ємної ваги, потуж-

ності рудного покладу, глибини ведення очисних робіт і оберненій пропорційній залежності від класу розробки покладу.

Практична значимість. Встановлена залежність зміни величини тиску у межах фігури випуску в діапазоні інтенсивності технологічного процесу випуску руди від 1,5 до 12 т/м² за добу, що дозволить встановити прогнозні показники вилучення при застосування високопродуктивної самохідної навантажувально-доставочної техніки.

Результати. Встановлено, що величина тиску у межах фігури випуску знаходиться у прямій пропорційній логарифмічній залежності від інтенсивності протікання технологічного процесу випуску, еквівалентної ширини очисної панелі, об'ємної ваги обвалених пустих порід, які вміщують рудний масив, потужності рудного покладу, глибини ведення очисних робіт і оберненій пропорційній залежності від класу розробки покладу, а область зони пониження тиску у процесі випуску рудної маси знаходиться у пропорційній залежності від інтенсивності його протікання і кількості випускних виробок з яких здійснюється випуск рівномірними дозами з приблизно однаковою інтенсивністю.

Ключові слова: чиста руда, теорія випуску руди, інтенсивність випуску руди, показники вилучення, чисельне моделювання, логарифмічна залежність.

Косенко А. В., Тарасютин В. М., Шепель А. Л. Компьютерное моделирование интенсификации технологического процесса выпуска руды под обрушенными пустыми породами

Цель. Установить количественные зависимости величины давления в пределах фигуры выпуска от интенсивности технологического процесса выпуска для различных параметров очистной панели и объемного веса обрушенных залегающих пустых пород.

Методы исследования. Численное моделирование высокоинтенсивного технологического процесса выпуска руды под обрушенными породами; аналитический метод исследования.

Научная новизна. Получила дальнейшее развитие зависимость изменения величины давления в пределах фигуры выпуска, которая основывается на учете интенсивности протекания технологического процесса выпуска, условий контакта очистной панели с необрушенным рудным или породным массивом и обрушенными пустыми породами и их объемного веса, которая в отличие от известной учитывает расположение очистной панели по мощности рудной залежи, глубину ведения очистных работ и класс разработки залежи и находится в прямой пропорциональной логарифмической зависимости от интенсивности протекания технологического процесса выпуска, эквивалентной ширины очистительной панели, которая характеризует условия ее контакта с обрушенными пустыми породами и их объемного веса, мощности рудной залежи, глубины ведения очистных работ и обратной пропорциональной зависимости от класса разработки залежи.

Практическая значимость. Установлена зависимость изменения величины давления в пределах фигуры выпуска в диапазоне интенсивности технологического процесса выпуска руды от 1,5 до 12 т / м² в сутки, что позволит установить прогнозные показатели извлечения при применении высокопроизводительной самоходной погрузочно-доставочной техники.

Результаты. Установлено, что величина давления в пределах фигуры выпуска находится в прямой пропорциональной логарифмической зависимости от интенсивности протекания технологического процесса выпуска, эквивалентной ширины очистительной панели, объемного веса обрушенных пустых пород, мощности рудной залежи, глубины ведения очистных работ и обратной пропорциональной зависимости от класса разработки залежи, а область зоны понижения давления в процессе выпуска рудной массы находится в пропорциональной зависимости от интенсивности его протекания и количества выпускных выработок из которых осуществляется выпуск равномерными дозами с приблизительно одинаковой периодичностью.

Ключевые слова: чистая руда, теория выпуска руды, интенсивность выпуска руды, показатели извлечения, численное моделирование, логарифмическая зависимость.

Kosenko A.V., Tarasiutin V.M., Shepel O. L. Computer simulation of intensification of the ore-drawing under caving waste rocks

Purpose. To establish the quantitative dependences of the pressure value within the ore-drawing figure on the intensity of the ore-drawing for various parameters of the cleaning panel and the volumetric weight of the overburden of overburden.

Research methods. Numerical modeling of high-intensity technological process of ore production under the collapsed rocks; analytical research method.

Scientific novelty. The dependence of the change in pressure value within the ore-drawing figure, which is based on the intensity of the flow of the exhaust process, the contact conditions of the cleaning panel with the unbroken ore or rock mass and caving waste rocks and their volume weight, which, unlike the known one, takes into account the location of the cleaning panel, has been further developed, according to the thickness of the ore deposit, the depth of the treatment works and the class of development of the deposit and is in direct proportional logarithmic dependence on the intensity of the technological process of release, equivalent to the width of the cleaning panel, which characterizes the conditions of its contact with collapsed waste rocks and their volume weight, the thickness of the ore deposit, the depth of the stoped works and inversely proportional to the class of development of the deposit.

Practical value. The dependence of the change in pressure value within the output figure in the range of the intensity of the ore-drawing from 1.5 to 12 tons/m² per day is established, which will allow to establish predicted degree of extraction when using high-performance self-propelled loading and hauling equipment.

Results. It has been established that the pressure value within the ore-drawing figure is directly proportional to the logarithmic dependence on the intensity of the ore-drawing, the equivalent width of the cleaning panel, the volume weight of caving waste rocks, the thickness of the ore deposit, the depth of stoped works and the inverse proportion to the class of development of the deposit, and the area of the pressure lowering zone in the process of ore mass production is proportional to the intensity of its flow and the number of exhaust openings of which the release of uniform doses with approximately equal intervals.

Keywords: headings, ore-drawing theory, intensity of ore-drawing, degree of extraction, numerical simulation, logarithmic dependence.

УДК 622.271.0123.004.15

Жуков С. А., Костянский А.Н. Определение глубины этапа действующего железорудного карьера при разработке наклонных и крутых залежей

Цель. Определение глубины следующего этапа отработки железорудного карьера при разработке наклонных и крутых залежей с учетом влияния его основных параметров с помощью предложенного показателя, а также последующий анализ полученных результатов расчета.

Методы исследования. Анализ и обобщение литературных источников, а также ранее выполненных исследований. Системный подход к учету влияющих факторов на основе изучения количественных зависимостей и применения аналитических методов исследования при решении аналогичных задач позволил проводить обработку и интерпретацию полученной информации при определении глубины следующего этапа отработки карьера. С использованием аналитико-математического метода установлен показатель для достоверной оценки и технико-экономического сравнения расчетных параметров карьера при обосновании глубины дальнейшего этапа его разработки.

Научная новизна. При установлении аналитической зависимости оценочного показателя для обоснования экономичности следующей очереди углубки действующего железорудного карьера, в качестве которого принимается величина эксплуатационного коэффициента вскрыши, наряду с наиболее значимыми технико-экономическими показателями товарной продукции, учитывается также качество добываемой руды выраженное содержанием железа соответствующим глубине рассматриваемого этапа отработки карьера. При этом анализ изменения коэффициента вскрыши от содержания железа в руде показывает, что данная функция характеризуется линейной зависимостью, что позволяет прогнозировать данный показатель на будущие периоды

Практическое значение. Определение эксплуатационного коэффициента вскрыши для установления глубины данного этапа развития карьера при разработке наклонных и крутых залежей на основе приведенных аналитических зависимостей, несмотря на то, что аналитический расчет глубины карьера считается приближенным, облегчает решение этой задачи по сравнению с графическим, графоаналитическим методами или методом сравнения вариантов. Оценка технических решений на основе данного показателя и установленных зависимостей поможет обосновать экономичность и рациональность решения по дальнейшей разработке карьера с учетом качества руды.

Результаты. В работе показана возможность использования полученных зависимостей при добыче железных руд применительно к конкретным горно-техническим условиям на примере карьера ИнГОКа. Прогнозируется падение производительности карьера по неокисленной руде, если при его дальнейшей отработке не будет заранее подготовлена компенсация выбытия фронта работ по руде, особенно в его южной части. Оценка технических решений на основе показателя и установленных зависимостей поможет обосновать экономичность и рациональность решений по дальнейшей разработке карьера с учетом качества руды.

Ключевые слова: глубина карьера, аналитический метод, коэффициент вскрыши.

Жуков С. О., Костянский О.М. Визначення глибини етапу діючого залізорудного кар'єру при розробці похилих і крутих покладів.

Мета. Визначення глибини наступного етапу відпрацювання залізорудного кар'єру при розробці похилих і крутих покладів з урахуванням впливу його основних параметрів за допомогою запропонованого показника, а також подальший аналіз отриманих результатів розрахунку.

Методи дослідження. Аналіз і узагальнення літературних джерел, а також раніше виконаних досліджень. Системний підхід до врахування факторів, що впливають на основі вивчення кількісних залежностей та застосування аналітичних методів дослідження при вирішенні аналогічних завдань дозволив проводити обробку і інтерпретацію отриманої інформації при визначенні глибини наступного етапу відпрацювання кар'єра. З використанням аналитико-математичного методу встановлено показник для достовірної оцінки і техніко-економічного порівняння розрахункових параметрів кар'єра при обґрунтуванні глибини подальшого етапу його розробки.

Наукова новизна. При встановленні аналитичної залежності оціночного показника для обґрунтування економічності наступної черги поглиблення чинного залізорудного кар'єру, в якості якого приймається величина експлуатаційного коефіцієнта розкриття, поряд з найбільш значимими технико-економічними показниками товарної продукції, враховується також якість видобутої руди виражене вмістом заліза відповідним глибині розглянутого етапу відпрацювання кар'єра. При цьому аналіз зміни коефіцієнта розкриття від вмісту заліза в руді показує, що дана функція характеризується лінійною залежністю, що дозволяє прогнозувати цей показник на майбутні періоди.

Практичне значення. Визначення експлуатаційного коефіцієнта розкриття для встановлення глибини даного етапу розвитку кар'єра при розробці похилих і крутих покладів на основі наведених аналітичних залежностей, незважаючи на те, що аналітичний розрахунок глибини кар'єра вважається наближеним, полегшує вирішення цього завдання в порівнянні з графічним, графоаналітичним методами або методом порівняння варіантів. Оцінка технічних рішень на основі даного показника і встановлених залежностей допоможе обґрунтувати економічність і рациональність рішення по подальшій розробці кар'єра з урахуванням якості руди.

Результати. В роботі показана можливість використання отриманих залежностей при видобутку залізних руд стосовно конкретних гірничо-технічними умовами на прикладі кар'єра ІнГЗК. Прогнозується падіння продуктивності кар'єру по неокисленого руді, якщо при його подальшій відпрацювання не буде заздалегідь підготовлена компенсація вибуття фронту робіт по руді, особливо в його південній частині. Оцінка технічних рішень на основі показника і встановлених залежностей допоможе обґрунтувати економічність і рациональність рішень по подальшій розробці кар'єра з урахуванням якості руди.

Ключові слова: глибина кар'єру, аналітичний метод, коефіцієнт розкриття

Zhukov S.A., Kostianskyi A.N. Determining the depth of the existing iron ore quarry in the development of inclined and steep deposits

Purpose. Determining the depth of the subsequent mining stage of an iron ore open pit in mining inclined and steep deposits considering the impact of its basic parameters by applying a suggested index and analyzing obtained calculation results.

Research methods. Analysis and generalization of references and previous researches. The system-based approach to considering impact factors on the basis of studying quantitative dependencies and applying analytic research methods to solving similar problems allows processing and interpretation of the data on determining the depth of the subsequent mining stage of an open pit. The analytical and mathematical method enables determining an index to ensure reliable assessment and technical-economic comparison of rated parameters of an open pit for substantiating its subsequent mining stage.

Scientific novelty. In order to substantiate efficiency of the subsequent mining stage of an operating iron ore open pit, the analytical dependency of the assessment index is determined by means of the value of the operating stripping ratio. Along with the most significant technical and economic indices of marketable products, the quality of the ore mined expressed by the iron content in the course of the mining stage under study is also considered. Analysis of the changes in the stripping ratio depending on the iron content indicates that this function is characterized by a linear dependency which enables forecasting this index in subsequent periods.

Practical value. Determination of the operating stripping ratio simplifies this problem solution as compared to application of graphical, graphical-analytical methods and that of comparing variants in spite of the fact that analytical calculation of the open pit depth is considered approximate. Assessment of technical designs based on this index and established dependencies will allow substantiating efficiency of the subsequent mining stage considering the ore quality. It provides additional opportunities for applying the analytical method to determining the depth of the subsequent mining stage in designing iron ore open pits.

Results. The research presents possible application of obtained dependencies of iron ore mining to certain mining and technical conditions taking the InGOK open pit as an example. Reduced efficiency of the open pit in terms of non-oxidized ore mining is predicted, if, in the course of its subsequent mining, the working front decrease is not compensated, especially concerning its southern part. Assessment of technical designs on the basis of the index and established dependencies enables substantiation of efficiency of the subsequent mining considering the ore quality.

Keywords: open pit depth, analytical method, stripping ratio

УДК 622.1:528.02

Долгих О.В., Долгих Л.В. Використання спостережних станцій для дослідження деформацій земної поверхні та будівель поблизу зони провалля

Мета. Метою роботи є дослідження об'єкту шляхом виконання маркшейдерсько-геодезичних спостережень для отримання вихідних даних (інформації) для прийняття оптимальних рішень по захисту дитячого закладу від можливого шкідливого впливу гірничих робіт.

Методи дослідження. Розглядається питання дослідження й аналізу результатів спостереження за деформаціями земної поверхні та будівлі, розташованої поблизу зони зрушень, яка виникла внаслідок підземних гірничих робіт. Для вирішення задачі запропоновано використання класичного способу спостереження за процесами зсуву земної поверхні, зі створенням спостережної станції, але удосконаливши методику виконання вимірів за рахунок впровадження сучасних приладів. Існуюча спостережна станція на території шахти ім. Орджонікідзе була збільшена дванадцятьма реперами на ділянці дитячого закладу. Додаткова інформація по цій ділянці необхідна для отримання найбільш повної характеристики про стан будівлі дитячого закладу, розташованої поблизу небезпечної зони.

Наукова новизна. Інструментальні вимірювальні роботи виконувалися з використанням сучасних приладів – електронного тахеометра, нівеліра та GPS. Зроблено оцінку точності вимірів та аналіз результатів опрацювання даних. Для підтвердження сталого положення реперів чи, навпаки, їх зрушень, використовувався критерій Аббе. В роботі приділена увага питанню вибору методики визначення векторів зрушення реперів. Вимір ординат та визначення векторів зрушення для кожного конкретного випадку передбачено при складанні проекту спостережень. Відомо, що у випадку значної ламаності профілю, визначення векторів зрушення реперів профільної лінії в плані виконується полярним способом або прокладання теодолітного ходу, в роботі використано друге.

Практична значимість. За різницею координат репера з початкової та наступної серій спостережень визначені лінійна величина та дирекційний кут вектора зрушення в плані. Значення повного вектора зрушення розраховано за обчисленими величинами осідання й ординатами або векторами зрушення. Вимірювання ординат реперів й визначення векторів зрушення в плані виконувалося двічі, в прямому й зворотному напрямках.

Результати. Результати досліджень дають достатню характеристику реперів, розташованих на досліджуваній території, для прийняття рішення про подальше використання дитячого закладу.

Ключові слова: деформації, репери, сучасні прилади, спостережна станція, вектор зрушення.

Долгих А.В., Долгих Л.В. Использование наблюдательных станций для исследования земной поверхности и зданий вблизи зоны обрушения

Цель. Целью работы является исследование объекта путем выполнения маркшейдерско-геодезических наблюдений для получения исходных данных (информации) для принятия оптимальных решений по защите детского заведения от возможного вредного влияния горных работ.

Методы исследования. Рассматриваются вопросы исследования и анализа результатов наблюдения за деформациями земной поверхности и здания, расположенного вблизи зоны сдвижений, которая возникла вследствие подземных горных работ. Для решения задачи предложено использование классического способа наблюдения за процессами сдвижений земной поверхности, с созданием наблюдательной станции, но усовершенствовал методику выполнения измерений за счет внедрения современных приборов. Существующая наблюдательная станция на территории шахты им. Орджоникидзе была увеличена двенадцатью реперами на участке детского заведения. Дополнительная информация по этому участку необходима для получения наиболее полной характеристики о состоянии здания детского заведения, расположенного близи опасной зоны.

Научная новизна. Инструментальные измерительные работы выполнялись с использованием современных приборов – электронного тахеометра, нивелира и GPS. Выполнена оценка точности измерений и анализ результатов обработки данных. Для подтверждения стабильности положения реперов или, наоборот, их нестабильности, использова-

ля критерий Аббе. В работе уделено внимание вопросу выбора методики определения векторов сдвижений реперов. Измерение ординат и определение векторов сдвижений для каждого конкретного случая предусмотрено при составлении проекта наблюдений. Известно, что в случае значительной изломанности профиля, определение векторов сдвижений реперов профильной линии в плане, выполняется полярным способом или прокладыванием теодолитного хода, в работе использовано второе.

Практическая значимость. По разнице координат репера из начальной и последующей серий наблюдений, определены линейная величина и дирекционный угол вектора смещения в плане. Значение полного вектора сдвижения получено по вычисленным величинами оседания и ординатами или векторам сдвижения. Измерение ординат реперов и определение векторов сдвижения в плане выполнялось дважды, в прямом и обратном направлениях.

Результаты. Результаты исследований дают достаточную характеристику реперов, расположенных на исследуемой территории, для принятия решения о дальнейшем использовании детского заведения.

Ключевые слова: деформации, реперы, современные приборы, наблюдательная станция, вектор сдвижения

Dolgikh O.V., Dolgikh L.V. Observation stations for the study of the earth's surface and buildings near the zone of collapse

Purpose. The purpose of the work is to study the object by performing surveying and geodetic observations to obtain the initial data (information) to make optimal decisions to protect the children's institution from the possible adverse effects of mining.

Research methods. Research and analysis of the results of monitoring the deformations of the earth's surface and the building located near the displacement zone, which arose as a result of underground mining. The classical method of observing the movement of the earth's surface was proposed, with the creation of an observation station, but having improved the measurement technique by introducing modern instruments. The existing observation station in the mine of Ordzhonikidze was enlarged by twelve benchmarks on the site of the children's institution. Additional information on this site is necessary to obtain the most complete description of the state of the building of the children's institution located near the dangerous area.

Scientific novelty. Instrumental measurement work was performed using modern instruments - electronic total station, level and GPS. The accuracy of measurements and the analysis of data processing results are evaluated. To confirm the immutability of the position of benchmarks or their movements of the Abbe criterion was used. Attention is paid in this work to the question of choosing a method for determining the benchmarks displacement vectors. The measurement of the coordinates and the determination of the displacement vectors for each specific case are provided when designing the observation project. It is known that in the case of a significant broken profile, the determination of the benchmarks displacement vectors of profile lines in the plan is carried out in a polar way or by laying a traverse, the second one was used in the work.

Practical value. From the difference in the coordinates of the benchmarks from the initial and subsequent series of observations, linear values and directional angles of displacement vectors in the plan are determined. The value of the total displacement vector is obtained from the calculated values of the draughts and ordinates or displacement vectors. The determination of the ordinate of benchmarks and displacement vectors in the plan was carried out twice - in the forward and reverse directions.

Results. The research results provide a sufficient description of the benchmarks located in the study area to make a decision on the further use of the children's institution.

Keywords: deformations, benchmarks, modern instruments, observation station, displacement vector.

УДК 621.382.333

Козакевич І.А., Касаткіна І.В., Єрмоєнко Л.В. Дослідження роботи синхронного двигуна з постійними магнітами в гібридних тягових електроприводах

Мета. Метою даної роботи є дослідження синхронних двигунів транспортних засобів з постійними магнітами при ослабленні магнітного потоку, визначення аналітичних залежностей для забезпечення максимального співвідношення між електромагнітним моментом та струмом при умові обмеження величин напруг та струмів статора, розробка системи керування, що забезпечить роботу двигуна при частоті обертання вищої за номінальну, а також синтез методу керування тяговим синхронним двигуном з постійними магнітами, що передбачав би одночасне керування з максимізацією співвідношення момент-струм та максимізацією коефіцієнта корисної дії без використання додаткових перемикачів у структурі системи керування.

Методи дослідження. Дослідження виконувалося з використанням загальних методів теорії автоматичного керування, методів теорії оптимального керування та методів дослідження нелінійних систем автоматичного керування, варіаційного та матричного обчислення, чисельних методів, методів математичного аналізу, математичного моделювання та лабораторно-стендових випробувань.

Наукова новизна. Встановлені залежності між складовими вектору струму статора двигуна при роботі в зоні ослаблення магнітного поля та обмеженні величин струмів та напруг на номінальному рівні. Розроблена структура системи керування синхронним двигуном, що дозволяє реалізувати отримання максимального співвідношення між електромагнітним моментом та струмом статора двигуна, а також досягти високих показників якості керування при роботі з кутовою швидкістю вищою за номінальну.

Практична значимість. Здійснено теоретичне узагальнення й розв'язання актуальної науково-технічної задачі, що пов'язана з керуванням синхронним двигуном з постійними магнітами в зоні ослаблення магнітного поля. Було визначено, що найбільш суттєвими чинниками, що впливають на роботу двигуна у такому режимі є наявність обмеження напруги і струму на номінальному рівні. В той же час аналіз таких систем при одночасній дії двох обмежень, що мають різний фізичний зміст є складною задачею. Крім того, отримано залежності, що дозволяють аналітично описати область допустимих значень кутової швидкості двигуна та навантаження при роботі з ослабленням поля.

Результати. Розроблена система керування роботою синхронного двигуна з постійними магнітами в режимі ослаблення поля, що дозволяє застосовувати такі двигуни в гібридному електротранспорті.

Ключові слова: синхронний двигун, постійні магніти, струм статора, регулятор струму, кутова швидкість.

Козакевич І.А., Касаткіна І.В., Еременко Л.В. Исследование работы синхронными двигателями с постоянными магнитами в гибридных тяговых электроприводах

Цель. Целью данной работы является исследование синхронных двигателей транспортных средств с постоянными магнитами при ослаблении магнитного потока, определение аналитических зависимостей для обеспечения максимального соотношения между электромагнитным моментом и током при условии ограничения величин напряжений и токов статора, разработка системы управления, что обеспечит работу двигателя при частоте вращения выше номинальной, а также синтез метода управления тяговым синхронным двигателем с постоянными магнитами, который предусматривал бы одновременное управление с максимизацией соотношения момент-ток и максимизацией коэффициента полезного действия без использования дополнительных переключений в структуре системы управления.

Методы исследования. Исследование выполнялось с использованием общих методов теории автоматического управления, методов теории оптимального управления и методов исследования нелинейных систем автоматического управления, вариационного и матричного исчисления, численных методов, методов математического анализа, математического моделирования и лабораторно-стендовых испытаний.

Научная новизна. Установлены зависимости между составляющими вектора тока статора двигателя при работе в зоне ослабления магнитного поля и ограничении величин токов и напряжений на номинальном уровне. Разработана структура системы управления синхронным двигателем, которая позволяет реализовать получение максимального соотношения между электромагнитным моментом и током статора двигателя, а также достичь высоких показателей качества управления при работе с угловой скоростью выше номинальной.

Практическая значимость. Осуществлено теоретическое обобщение и решение актуальной научно-технической задачи, связанной с управлением синхронным двигателем с постоянными магнитами в зоне ослабления магнитного поля. Было определено, что наиболее существенными факторами, влияющими на работу двигателя в таком режиме является наличие ограничения напряжения и тока на номинальном уровне. В то же время анализ таких систем при одновременном действии двух ограничений, имеющих различный физический смысл является сложной задачей. Кроме того, получены зависимости, позволяющие аналитически описать область допустимых значений угловой скорости двигателя и нагрузки при работе с ослаблением поля.

Результаты. Разработанная система управления работой синхронного двигателя с постоянными магнитами в режиме ослабления поля, что позволяет применять такие двигатели в гибридном электротранспорте.

Ключевые слова: синхронный двигатель, постоянные магниты, ток статора, регулятор тока, угловая скорость.

Kozakevych I.A., Kasatkina I.V., Yeriomenko L.V. Synchronous motor with permanent magnets in hybrid electric drivers
Purpose. To study the synchronous motors of vehicles with permanent magnets with the weakening of the magnetic flux; to determine the analytical dependencies to ensure the maximum ratio between the electromagnetic moment and current in the condition of limiting the voltages and stator currents; to develop a control system that ensures the engine at a frequency rotation higher than nominal, as well as synthesis of the method of control of a traction synchronous motor with permanent magnets, which would involve simultaneous control maximizing the ratio of the instantaneous current and maximizing the efficiency coefficient without the use of additional switching in the structure of the control system.

Research methods. The general methods of the theory of automatic control, methods of the theory of optimal control and methods for the study of nonlinear systems of automatic control, variational and matrix calculus, numerical methods, mathematical analysis methods, mathematical modeling and laboratory bench tests.

Scientific novelty: The dependencies between the components of the vector current of the stator of the engine are established at work in the area of weakening of the magnetic field and the limitation of the values of currents and voltages at the nominal level. The structure of the control system of the synchronous engine is developed, which allows to realize the obtaining of the maximum ratio between the electromagnetic moment and stator current of the engine, and also to achieve high indicators of quality control when working with angular velocity higher than nominal.

Practical value. A theoretical generalization and solution of the actual scientific and technical problem related to the control of a synchronous motor with permanent magnets in the area of weakening of the magnetic field is carried out. It was determined that the most significant factors affecting the operation of the engine in this mode are the presence of voltage and current limitation at nominal level. At the same time, the analysis of such systems with the simultaneous action of two constraints having different physical content is a complex task. In addition, dependencies were obtained that allow analytically to describe the region of permissible values of the angular speed of the engine and the load when working with the weakening of the field.

Results. A system for controlling the operation of a synchronous motor with permanent magnets in the mode of weakening of the field, which allows the use of such engines in hybrid electric transport.

Keywords: synchronous motor, permanent magnets, stator current, current regulator, angular velocity.

УДК 658.53:622.013

Щолох М. В. Нормування готових до видобування балансово-промислових запасів залізистих кварцитів

Мета. Метою даної роботи є розробка метода і методики визначення і облік розкритих, підготовлених і готових до видобування балансово-промислових запасів залізистих кварцитів на гірничовидобувних підприємствах та встановлення взаємозв'язку між ними.

Методи дослідження. Аналіз та узагальнення науково-технічних досягнень нормування з урахуванням того, що при класифікації підготовленості балансово-промислових запасів до кінця не витриманий класифікаційний принцип, відповідно до якого підготовленість запасів до видобування визначається при виконанні устанавленого технологічного комплексу гірничих робіт. Розглянуто балансово-промислові запаси готові до видобування як сума відбитих, обурених і підготовлених до буріння вибуховими свердловинами. Проаналізовано динаміку кожної із цих груп промислових запасів залізистих кварцитів однієї видобувної одиниці, а потім готових до видобування балансово-промислових запасів по кар'єру в цілому. Досліджено, як відбувається мінливість у часі готових до видобування балансово-промислових запасів однієї видобувної одиниці і кар'єру в цілому, що складається з початкового моменту

часу, періоду часу до першого розпушення масиву залізистих кварцитів, числа масових вибухів, інтервалу часу між розпушеннями та після розпушення масиву залізистих кварцитів видобувної одиниці.

Наукова новизна. Встановлено залежності продуктивності гірничовидобувного підприємства і середнього квадратичного відхилення вмісту якісних показників усередненого корисного компонента, пов'язаного з магнетитом у залізорудній масі від числа видобувних одиниць. Обґрунтовано нормативні значення готових до видобування, підготовлених і розкритих балансово-промислових запасів, які залежать від інтенсивності проведення гірничих робіт і під впливом великої кількості випадкових факторів суттєво коливаються. Доведено, що мінливість балансово-промислових запасів видобувної одиниці обурених вибуховими свердловинами, носить стрибкоподібний характер з періодом, що дорівнює інтервалу часу між суміжними розпушеннями масиву балансово-промислових запасів.

Практична значимість. Розроблена методика аналізу закономірностей нормування підготовленості до видобування балансово-промислових запасів базується на зіставленні значень визначення нормативного числа видобувних одиниць і забезпеченості промислово-балансовими запасами кожної видобувної одиниці.

Результати. Нормативна величина підготовленості до видобування балансово-промислових запасів усіх категорій повинна мати резерв, який компенсує нерівномірність проведення гірничих робіт, а нормативна забезпеченість визначається з резервом, який компенсує похибки розрахунків.

Ключові слова: запаси, залізисті кварцити, нормування, методика, видобувна одиниця.

Шолох М. В. Нормирование готовых к добыче балансово-промышленных запасов железистых кварцитов

Цель. Целью данной работы является разработка метода и методики определения и учет раскрытых, подготовленных и готовых к добыче балансово-промышленных запасов железистых кварцитов на горнодобывающих предприятиях и установление взаимосвязи между ними.

Методы исследования. Анализ и обобщение научно-технических достижений нормирования с учетом того, что при классификации подготовленности балансово-промышленных запасов до конца не выдержан классификационный принцип, согласно которому подготовленность запасов к добыче определяется при выполнении установленного комплекса горных работ. Рассмотрены балансово-промышленные запасы готовые к добыче как сумма отраженных, возмущенных и подготовленных к бурению взрывных скважин. Проанализирована динамика каждой из этих групп промышленных запасов железистых кварцитов одной добывающей единицы, а затем готовых к добыче балансово-промышленных запасов по карьере в целом. Исследовано, как происходит изменчивость во времени готовых к добыче балансово-промышленных запасов одной добывающей единицы и карьере в целом, состоящий из начального момента времени, периода времени до первого разрыхления массива железистых кварцитов, числа массовых взрывов, интервала времени между разрыхлениями и после разрыхления массива железистых кварцитов добывающей единицы.

Научная новизна. Установлены зависимости производительности горнодобывающего предприятия и среднего квадратического отклонения содержания качественных показателей усредненного полезного компонента, связанного с магнетитом в железорудной массе от числа добывающих единиц. Обоснованы нормативные значения готовых к добыче, подготовленных и раскрытых балансово-промышленных запасов, которые зависят от интенсивности проведения горных работ и под влиянием большого количества случайных факторов существенно колеблются. Доказано, что изменчивость балансово-промышленных запасов добывающей единицы возмущенных взрывными скважинами, носит скачкообразный характер с периодом, равным интервалу времени между смежными разрыхлениями массива балансово-промышленных запасов.

Практическая значимость. Разработана методика анализа закономерностей нормирования подготовленности к добыче балансово-промышленных запасов базируется на сопоставлении значений определения нормативного числа добычных единиц и обеспеченности промышленно-балансовыми запасами каждой добычной единицы.

Результаты. Нормативная величина подготовленности к добыче балансово-промышленных запасов всех категорий должна иметь резерв, который компенсирует неравномерность проведения горных работ, а нормативная обеспеченность определяется с резервом, который компенсирует погрешности расчетов.

Ключевые слова: запасы, железистые кварциты, нормирования, методика, добывающая единица.

Sholokh M. V. Standardization of ready-made balance-industrial reserves of ferruginous quartzites

The purpose of this work is to develop a method and methodology for determining and accounting open, prepared and ready for the extraction of balance-industrial stocks of ferrous quartzites in mining enterprises and the establishment of interconnection between them.

Research methods. Analysis and generalization of scientific and technical achievements of valuation taking into account that at classification of preparedness of balance-industrial stocks to the end the classification principle according to which the preparedness of reserves for extraction is determined at performance of the established technological complex of mining operations is not met. The balance-industrial stocks are ready to be extracted as the sum of reflected, indignant and prepared for drilling by exploding wells. The dynamics of each of these groups of industrial stocks of ferruginous quartzites of one extractive unit, and then ready for the extraction of balance-industrial stocks for a career as a whole, is analyzed. It is researched how the volatility in time of the ready-to-extraction of balance-industrial stocks of one mining unit and a career as a whole, consisting of the initial moment of time, the period of time before the first dissolution of the array of ferruginous quartzites, the number of mass explosions, the interval of time between loosening and after dissolution of an array of ferrous quartzites of a mining unit.

Scientific novelty. The dependence of the productivity of the mining enterprise and the average square deviation of the content of the qualitative indices of the average useful component associated with the magnetite in the iron ore mass from the number of extractive units has been established. The normative values of ready-to-extraction, prepared and disclosed balance-industrial stocks, which depend on the intensity of mining operations and substantially fluctuate under the influence of a large number of random factors, are substantiated. It is proved that the volatility of the balance-industrial reserves of the mining unit is perturbed by explosive wells, is of a jump-like nature with a period equal to the time interval between adjacent loose arrays of balance-industrial stocks.

Practical significance. The developed method of analysis of regularities of preparedness for the extraction of balance-industrial stocks is based on a comparison of the values of the determination of the normative number of extractive units and the availability of industrial and balance stocks of each mining unit.

Results. The normative value of preparedness for the production of balance-industrial stocks of all categories should have a reserve that compensates for the unevenness of mining operations, and normative security is determined by a provision that compensates for the errors of calculations.

Keywords: reserves, ferruginous quartzites, normulation, methodology, extraction unit.

UDC 620.9

Karabut N. O., Shvets D. V., Kiriluk E. I. Ergonomics of lighting at the enterprise with the use of LED technologies

Purpose. To improve the energy efficiency of an enterprise by reducing electricity consumption of lighting devices and calculate the economic impact of the modern lighting technologies.

Research methods. Comparative analysis of the modern lighting technologies, their advantages and disadvantages in terms of the light flux power, efficiency, service life, ease of operation, and costs for implementation. Development of software for calculating the economic effect of modern lighting devices for the enterprise.

Scientific novelty. Methods for improving the energy efficiency of enterprises by reducing the energy intensity of lighting devices are included. The comparative characteristics of the various lighting technologies, their advantages and disadvantages are presented. The types and systems of lighting are analyzed, the economic efficiency of replaced outdated lighting is determined.

Practical value. Up to 30% of the purchased energy resources is allocated to the production process. Lighting of industrial premises and workshops is one of the most energy-intensive areas. Payment for consumed energy of an enterprise is the main budget strain which increases yearly. The technology under study allows to save energy costs significantly. Moreover, replacing outdated lighting devices with LED lamps makes it possible to achieve almost tenfold energy savings in the enterprise.

Results. It has been established that the use of LED technologies and the replacement of outdated lighting devices with more modern ones is one of the most promising energy savings in the enterprise. The developed software for calculating the economic effect of modern lighting allows to calculate the investment, payback period and annual energy savings of an enterprise.

Keywords: energy efficiency, LED, lighting, energy saving.

Карабут Н.О., Швець Д.В., Кирилюк Є.І. Ергономічність освітлення на підприємстві з використанням LED технологій

Мета. Виявлення шляхів підвищення енергоефективності підприємств за рахунок зниження витрат електроенергії освітлювальними приладами. Розрахунок економічної ефективності впровадження сучасних освітлювальних технологій в умовах підприємства.

Метод дослідження. Порівняльний аналіз сучасних освітлювальних технологій, їх переваг і недоліків з позицій потужності світлового потоку, коефіцієнта корисної дії, терміну служби, зручності експлуатації, необхідних витрат на впровадження. Розробка програмного забезпечення для обчислення економічного ефекту від впровадження сучасних освітлювальних приладів в умовах підприємства.

Наукова новизна. Рівень енерговитратності та надійності освітлювальних приладів на підприємствах на сьогоднішній день не відповідає сучасним вимогам економічності і надійності. У зв'язку з цим актуальним завданням є дослідження методів підвищення енергоефективності підприємств за рахунок зниження енергоємності освітлювальних приладів. Наведено порівняльні характеристики освітлювальних приладів різних технологій, проаналізовано їх переваги та недоліки. Проаналізовано види і системи освітлення, проведені розрахунки економічної ефективності заміни застарілих освітлювальних технологій на сучасні.

Практична значимість. На забезпечення виробничого процесу витрачається до 30% закуповуваних енергетичних ресурсів. Освітлення виробничих приміщень і цехів є одним з найбільш енерговитратних напрямків. Низька енергоефективність освітлювальних пристроїв характерна для промислової сфери. Фактично оплата за спожиту енергію є основною бюджетною навантаженням будь-якої установи, і з кожним роком вона істотно зростає. Впровадження рекомендованих технологій в виробничих умовах дозволить досягти значної економії коштів, що витрачаються на електроенергію. Розраховано, що заміна застарілих освітлювальних приладів на лампи LED технології дозволить досягти практично десятиразової економії електроенергії на підприємстві.

Результати. Встановлено, що застосування технологій LED і заміна застарілих освітлювальних приладів на більш сучасні є одним з найбільш перспективних напрямків для енергозбереження на підприємстві. Розроблене програмне забезпечення для обчислення економічного ефекту від впровадження сучасних освітлювальних приладів дозволяє розрахувати розмір інвестицій, терміни їх окупності та річну економію електроенергії на підприємстві.

Ключові слова: енергоефективність, LED, освітлення, енергозбереження.

Карабут Н.А., Швець Д.В., Кирилюк Е.И. Эргономичность освещения на предприятии с применением LED технологий

Цель. Выявление путей повышения энергоэффективности предприятий за счет снижения расхода электроэнергии осветительными приборами. Расчет экономической эффективности внедрения современных осветительных технологий в условиях предприятия.

Метод исследования. Сравнительный анализ современных осветительных технологий, их преимуществ и недостатков с позиций мощности светового потока, коэффициента полезного действия, срока службы, удобства эксплуатации, необходимых затрат на внедрение. Разработка программного обеспечения для вычисления экономического эффекта от внедрения современных осветительных приборов в условиях предприятия.

Научная новизна. Уровень энергозатратности и надежности осветительных приборов на предприятиях на сегодняшний день не отвечают современным требованиям экономичности и надежности. В связи с этим актуальной задачей является исследование методов повышения энергоэффективности предприятий за счет снижения энергоёмкости

осветительных приборов. Приведены сравнительные характеристики осветительных приборов различных технологий, проанализированы их преимущества и недостатки. Проанализированы виды и системы освещения, проведены расчеты экономической эффективности замены устаревших осветительных технологий на современные.

Практическая значимость. На обеспечение производственного процесса и затрачивается до 30% покупаемых энергетических ресурсов. Освещение производственных помещений и цехов является одним из наиболее энергозатратных направлений. Низкая энергоэффективность осветительных устройств характерна для промышленной сферы. Фактически оплата за потребленную энергию является основной бюджетной нагрузкой любого учреждения, и с каждым годом она существенно возрастает. Внедрение рекомендуемых технологий в производственных условиях позволит достичь значительной экономии средств, затрачиваемых на электроэнергию. Рассчитано, что замена устаревших осветительных приборов на лампы LED технологии позволит достичь практически десятикратной экономии электроэнергии на предприятии.

Результаты. Установлено, что применение технологий LED и замена устаревших осветительных приборов на более современные является одним из наиболее перспективных направлений для энергосбережения на предприятии. Разработанное программное обеспечение для вычисления экономического эффекта от внедрения современных осветительных приборов позволяет рассчитать размер инвестиций, сроки их окупаемости и годовую экономию электроэнергии на предприятии.

Ключевые слова: энергоэффективность, LED, освещение, энергосбережение.

УДК (622.807+622.235.3)

Наливайко В.Г., Лосьев К.В. Використання водного розчину ПАР «Лексол» для зниження пиловиділення на прикладі кар'єра ПрАТ «ІнГЗК»

Мета. Метою роботи є проведення промислових досліджень з визначення ефективності використання водного розчину ПАР «Лексол» для зниження пиловиділення при проведенні масових вибухів і зв'язування пилу на автодорогах кар'єрів, а також перевірка методів та способів нанесення водного розчину антипилового реагенту ПАР «Лексол» в ході експерименту.

Методи досліджень. Інструментальні вимірювання запиленості атмосферного повітря в кар'єрі безпосередньо біля підриємних блоків за допомогою спеціальних приладів для автоматичного відбору запиленого повітря, оброблених поверхнево - активною речовиною «Лексол» і без обробки при щелевій набійці свердловин. Інструментальні виміри запиленості автодоріг кар'єра при русі по ним технологічного автотранспорту до і після обробки поверхнево - активною речовиною «Лексол».

Наукова новизна. Вперше були проведені дослідження антипилового реагенту ПАР «Лексол» в промислових умовах кар'єру для пілепригнічення пилогозової хмари при вибухових роботах та отримані позитивні результати пілозв'язування на технологічних автодорогах при інтенсивному русі автосамоскидів по її поверхні при температурах навколишнього середовища вище 25°C.

Практична значимість. Практична значимість роботи полягає в проведенні досліджень ефективності пілопригнічення при проведенні масових вибухів на кар'єрі в реальних умовах виробництва, що дало змогу знизити викиди в атмосферу пилу на 21%. Проведені дослідження дозволяють проводити заходи по зниженню пилових викидів в навколишнє середовище від технологічних робіт на залізрудних комбінатах, що призведе до зниження запилення в жилих масивах, розташованих біля цих виробництв.

Результати. На підставі проведених промислових досліджень підтверджена ефективність запропонованого методу, щодо пілоподавлення при проведенні вибухових робіт із застосуванням водного розчину антипилового реагенту "Лексол-5». Під час нанесення водного розчину реагенту і в наступні дні не виявлено запаху чи інших негативних властивостей ПАР «Лексол». В ході проведення досліджень визначено ефективний час збереження в'язучих властивостей реагенту на поверхні автодоріг, який становить близько 10 днів. При повторному нанесенні водного розчину ПАР «Лексол» тривалість часу ефективного зв'язування пилу буде зростати.

Ключові слова: кар'єр, масовий вибух, автодорога, пілоподавлення.

Наливайко В.Г. Лосьев К.В. Использование водного раствора ПАР «Лексол» для снижения пылевыведения на примере карьера ПАО «ИнГОК»

Цель. Целью работы является проведение промышленных исследований по определению эффективности использования водного раствора ПАР «Лексол» для снижения пылевыведения при проведении массовых взрывов и связывания пыли на автодорогах карьеров, а также проверка методов и способов нанесения водного раствора антипылевого реагента ПАР «Лексол» в ходе эксперимента.

Методы исследований. Инструментальные измерения запыленности атмосферного воздуха в карьере непосредственно у взрывааемых блоков с помощью специальных приборов для автоматического отбора запыленного воздуха, обработанных поверхностно - активным веществом «Лексол» и без обработки при щелевочной забойке скважин. Инструментальные измерения запыленности автодорог карьера при движении по ним технологического автотранспорта до и после обработки поверхностно - активным веществом «Лексол».

Научная новизна. Впервые были проведены исследования антипылевого реагента ПАР «Лексол» в промышленных условиях карьера для пылеугнетения пыле-газового облака при взрывных работах и получены положительные результаты пылесвязывания на технологических автодорогах при интенсивном движении автосамосвалов по ее поверхности при температурах окружающей среды выше 25°C.

Практическая значимость. Практическая значимость работы заключается в проведении исследований эффективности пылеподавления при проведении массовых взрывов на карьере в реальных условиях производства, что позволило снизить выбросы в атмосферу пыли на 21%. Проведенные исследования позволяют проводить мероприятия по снижению пылевых выбросов в окружающую среду от технологических работ на железорудных комбинатах, что приведет к снижению запыленности в жилых массивах, расположенных у этих производств.

Результаты. На основании проведенных промышленных исследований подтверждена эффективность предложенного метода по пылеподавлению при проведении взрывных работ с применением водного раствора антипылевого реагента «Лексол-5». Промышленные исследования подтвердили безвредность ПАР «Лексол». Во время нанесения водного раствора реагента и в последующие дни не выявлено запаха или других негативных свойств ПАР «Лексол». В ходе проведения исследований определено эффективное время сохранения вяжущих свойств реагента на поверхности автодорог, который составляет около 10 дней. При повторном нанесении водного раствора ПАР «Лексол» продолжительность времени эффективного связывания пыли будет расти.

Ключевые слова: карьер, массовый взрыв, автодорога, пылеподавление.

Nalyvaiko V.G., Losiev K.V. Water solution PAR Lexol to reduce dust emission in a quarry PJSC "InGZK"

Purpose. The purpose of the work is to conduct industrial research with determining the efficiency of using an aqueous solution PAR «Lexol» to reduce dust emission during mass explosions and dust binding on the roads of quarries, also verification of methods and methods for applying an aqueous solution of anti-dust reagent PAR «Lexol» as a result of the experiment.

Research methods. Instrumental measurements of atmospheric air dust in a quarry directly next to the exploding blocks with the help of special instruments for automatic selection of dusty air, treated with the surface-active substance «Leksol» and without treatment when crushed stone damming wells.

Instrumental measurements of the dust content of the quarry highways during the movement of technological transport on them before and after treatment with the surface - active substance "Leksol".

Scientific novelty. For the first time, research was conducted on the anti-dust reagent "Lenksol" surfactant in the industrial conditions of a quarry for the pillagation of a dust-gas cloud during blasting and received positive results of dust binding on technological roads at intensive movement of dump trucks on her surface at ambient temperatures above 25 ° C.

Practical value. The practical significance of the work lies in conducting research on the effectiveness of dust extraction during mass explosions at a quarry in actual production conditions which reduced dust emissions by 21%. Conducted research allows to carry out measures to reduce dust emissions into the environment from technological work at iron ore plants, which will lead to a decrease in dustiness in residential areas, located near these industries.

Results. On the basis of conducted industrial researches the efficiency of the proposed method for dust suppression during blasting operations using an aqueous solution of anti-dust reagent Lexol-5 has been confirmed. At a concentration of 5% aqueous solution of antidust reagent Lexol-5, the average effectiveness of dust suppression was 21%. When wetting the quarry roads with 3% water solution PAR "Lexol-5" the effectiveness of the proposed method of dust binding on the road surface is determined, which allows to recommend it in industrial conditions. Industrial studies confirmed the harmlessness of PAR "Lexol-5". During the application of the aqueous solution of the reagent and in the following days no odor or other negative properties of PAR "Lexol-5" were detected. During the research, the effective time of preserving the properties of reagents on the road surface, which is about 10 days, is determined. When repeated application of aqueous solution PAR "Lexol-5", the time of effective dust binding will increase.

Keywords: quarry, mass explosion, road, dust suppression.

УДК 628.312.5:004.031.2

Шаповалова Н. Н., Богацький І. Ю., Штанько О. Ю. Розробка комплексної системи дистанційного контролю за рівнем забруднення виробничих стічних вод

Мета. Розробити апаратно-програмний комплекс контролю стану стічних вод, розглянути основні антропогенні джерела забруднення водного середовища, ознайомитись з критеріями забруднення водойм, проаналізувати методи визначення рівня забрудненості за відповідними критеріями, визначити склад води за такими параметрами: температура, мутність, рівень кислотності. Створити спеціальне програмне забезпечення по відстеженню фактичних значень критеріїв виміру забруднення стічних вод, побудові графічних зображень та збереженню показів від датчиків якості стічних вод.

Методи доіладження. Мутність – властивість води, обумовлена наявністю нерозчинних речовин органічного та неорганічного походження. Причиною є мулисті частки, кремнієва кислота, гідроокиси заліза та алюмінію, органічні колоїди, мікроорганізми та планктон. Рівень мутності визначається методом турбідиметрії. Рівень кислотності визначається методом виміру напруги між двома електродами, опущеними в розчин. Визначення температури води відбувається шляхом занурення термометра у воду, при цьому вона не повинна освітлюватися сонцем. Були використані загальнонаукові методи теоретичного дослідження: аналіз складу стічних вод, синтез отриманих даних, моделювання процесу визначення рівня забрудненості води, узагальнення; методи емпіричного дослідження: вивчення досвіду в області поставленого завдання, тестування отриманої моделі; методи об'єктно-орієнтованого проектування та програмування.

Наукова новизна. Визначено фізичні показники забрудненості стічних вод, а саме: ступінь мутності, кольоровості та рівень кислотності. Запропоновано підходи до вирішення проблеми контролю якості стічних вод на основі апаратно-програмного комплексу контролю якості стічних вод.

Практична значимість виконаної роботи полягає у визначенні фізичних показників забрудненості стічних вод та вирішенні проблеми забруднення водойм за рахунок завчасного попередження виникнення надзвичайних ситуацій. Вимірювальна станція є системою раннього виявлення забруднень. Апаратно-програмний комплекс має широке коло застосування, починаючи з промислових стічних вод, і, закінчуючи питною водою.

Результати. Розроблено апаратно-вимірювальний комплекс контролю фізичних показників стічних вод, відстеження, зберігання інформації фізичних показників складу стічних вод та побудови графічних зображень на основі фізичних показників якості стічних вод.

Ключові слова: апаратно-програмний комплекс, функціонал якості, мутність, водневий показник, метод турбідиметрії, детектор розсіяного світла, потенціометричний аналіз.

Шаповалова Н. Н., Богацький І. Ю., Штанько А. Ю. Разработка комплексной системы дистанционного контроля за уровнем загрязнения производственных сточных вод

Цель. Разработать аппаратно-программный комплекс контроля состояния сточных вод, рассмотреть основные антропогенные источники загрязнения водной среды, ознакомиться с критериями загрязнения водоемов, проанализировать методы определения уровня загрязненности по соответствующим критериям, определить состав воды по следующим параметрам: температура, мутность, уровень кислотности. Создать специальное программное обеспечение по отслеживанию фактических значений критериев измерения загрязнения сточных вод, построению графических изображений и сохранению показателей от датчиков качества сточных вод.

Методы исследования. Мутность – свойство воды, обусловленное наличием нерастворимых веществ органического и неорганического происхождения. Причиной является илистые частицы, кремниевая кислота, гидроксиды железа и алюминия, органические коллоиды, микроорганизмы и планктон. Уровень мутности определяется методом турбидиметрии. Уровень кислотности определяется методом измерения напряжения между двумя электродами, опущенными в раствор. Определение температуры воды происходит путем погружения термометра в воду, при этом она не должна освещаться солнцем. Были использованы общенаучные методы теоретического исследования: анализ состава сточных вод, синтез полученных данных, моделирование процесса определения уровня загрязненности воды, обобщения; методы эмпирического исследования: изучение опыта в области поставленной задачи, тестирование полученной модели; методы объектно-ориентированного проектирования и программирования.

Научная новизна. Определены физические показатели загрязненности сточных вод, а именно: степень мутности, цветности и уровень кислотности. Предложены подходы к решению проблемы контроля качества сточных вод на основе аппаратно-программного комплекса контроля качества сточных вод.

Практическая значимость выполненной работы состоит в определении физических показателей загрязненности сточных вод и решении проблемы загрязнения водоемов за счет заблаговременного предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций. Измерительная станция является системой раннего обнаружения загрязнений. Аппаратно-программный комплекс имеет широкий круг применения, начиная с промышленных сточных вод, и, заканчивая питьевой водой.

Результаты. Разработан аппаратно-измерительный комплекс контроля физических показателей сточных вод, отслеживания, хранения информации физических показателей состава сточных вод и построения графических изображений на основе физических показателей качества сточных вод.

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс, функционал качества, мутность, водородный показатель, метод турбидиметрии, детектор рассеянного света, потенциометрический анализ.

Shapovalova N. N, Bohatskyi I. Yu, Shtanko O.Yu. Development of complex remote control system for determining pollution level of production steel water

Purpose. Develop hardware and software complex for sewage monitoring, consider the main anthropogenic sources of pollution of the water environment, get acquainted with the criteria of water pollution, analyze methods of determining the level of pollution according to the certain criteria, determine the composition of water according to the following parameters: temperature, turbidity, acidity level. Create special software for tracking actual values of the criteria for measuring wastewater pollution, for construction of graphic images and saving sensor readings.

Research methods. Turbidity - a property of water, it is shown by the presence of insoluble substances of organic and inorganic origin. The reason is muddy particles, silicic acid, iron hydroxide and aluminum, organic colloids, microorganisms and plankton. The level of turbidity is determined by the turbidimetric method. The level of acidity is determined by the method of measuring the voltage between two electrodes that are immersed in the solution. Determination of water temperature occurs by immersing the thermometer in water which should not be lit by sunlight. Common scientific methods of theoretical research were used: analysis of sewage composition, synthesis of obtained data, modeling of the process of determining the water pollution level; methods of empirical research: study of the subject area, testing the resulting model; methods of object-oriented programming and design.

Scientific novelty. Defined physical indicators of contamination of wastewater as: turbidity level, color of water and acidity. Approaches to the solution of the problem of sewage quality control on the basis of hardware and software complex of sewage quality control are proposed.

The practical value of the work lies in determination of physical indicators of sewage pollution and solving the problem of water pollution at the expense of early warning of emergencies. The measuring station is a system for early detection of pollution. The hardware and software complex has a wide range of applications - from industrial waste water to drinking water.

Results. The hardware-measuring complex for sewage monitoring is developed, software complex for tracking and storage of information about physical indicators of wastewater composition is developed, also the mechanism of constructing graphic images based on physical indicators of sewage quality is realized.

Keywords: hardware and software complex, quality functional, turbidity, hydrogen index, turbidimetry method, scattered light detector, potentiometric analysis.

УДК 691.328

Валовой О.І., Попруга Д.В., Люльченко Є.В., Чорна К.В. Виготовлення будівельних конструкцій армованих металевою і склопластиковою арматурою з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів

Мета. Виготовити будівельні конструкції з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів армованих металевою і склопластиковою арматурою.

Методи дослідження. Фізичне виготовлення просторових арматурних каркасів з комбінованим композитно-металевим армуванням, приготування бетонної суміші з відходів гірничодобувної промисловості і безпосереднє виготовлення натурних зразків згинальних будівельних конструкцій для подальшого експериментального випробування.

Наукова новизна. Визначення необхідних передумов використання склопластикової арматури, в поєднанні з металевою, в згинальних будівельних конструкціях виготовлених на бетонах з відходів гірничо-збагачувальних комбінатів.

Практична значимість. Наукове дослідження відбувається в межах виконання ініціативної науково-дослідної роботи РК№0118U000118 «Дослідження роботи склопластикової арматури в згинальних елементах виготовлених з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів».

Результати. Дослідні зразки виготовлені і витримані в заводських умовах ТОВ «Спарта» (м. Кривий Ріг). Для експериментального дослідження було виготовлено 7 серій зразків, загальною кількістю 20 штук, з розмірами 120×220×2070 мм.

В якості формуютьовального елемента використовувалася стандартна металева опалубка для перемичок ЗПБ 21-8. Для армування зразків було використано металеву арматуру Ø6 A240 і Ø12 A400C та склопластикову арматуру АКС 800 діаметром 10, 12 і 14 мм. Склопластикова арматура АКС 800 була надана для дослідження ТОВ «ТОРГПРОМ-КОНТРАКТ» (м. Дніпро).

Композитна арматура використовувалася в якості робочої в 6 серіях балок. Поєднання склопластику з металевими поперечними хомутами відбувалося зв'язуванням проволокою.

Металева робоча арматура, окрім першої контрольної серії балок, використовувалася у трьох серіях з комбінованим композитно-металевим армуванням розтягнутої зони. Поєднання металевих стержнів поздовжньої арматури в розтягнутій і стиснутій зонах, з поперечними хомутами, відбувалося шляхом електрозварювання.

Бетонування зразків було виконано бетоном класу С25/30. В якості дрібного заповнювача використано відходи збагачення мокрої магнітної сепарації залізистих кварцитів. Ущільнення бетонної суміші було виконано за допомогою глибинного вібратора.

Ключові слова: склопластикова арматура, відходи, опалубка, комбіноване армування, серії балок, глибинний вібратор.

Валовой А.И., Попруга Д.В., Люльченко Е.В., Чорна К.В. Изготовление строительных конструкций армированных металлической и стеклопластиковой арматурой из бетонов на отходах горно-обогатительных комбинатов

Цель. Изготовить строительные конструкции из бетонов на отходах горно-обогатительных комбинатов, армированных металлической и стеклопластиковой арматурой.

Методы исследований. Физическое изготовление пространственных арматурных каркасов с комбинированным композитно-металлическим армированием, приготовление бетонной смеси из отходов горнодобывающей промышленности и непосредственное изготовление натуральных образцов изгибаемых строительных конструкций для последующего экспериментального исследования.

Научная новизна. Определение необходимых предпосылок использования стеклопластиковой арматуры, в соединении с металлической, в изгибаемых строительных конструкциях, изготовленных на бетонах из отходов горно-обогатительных комбинатов.

Практическая значимость. Научное исследование происходит в рамках выполнения инициативной научно-исследовательской работы РК№0118U000118 «Исследование работы стеклопластиковой арматуры в изгибаемых элементах изготовленных из бетонов на отходах горно-обогатительных комбинатов».

Результаты. Исследуемые образцы изготовлены и выдержаны в заводских условиях ООО «Спарта» (г. Кривой Рог). Для экспериментального исследования было изготовлено 7 серий образцов, общим количеством 20 штук, с размерами 120×220×2070 мм.

В качестве формообразующего элемента использовалась стандартная металлическая опалубка для перемычек ЗПБ 21-8. Для армирования образцов была использована металлическая арматура Ø6 A240 и Ø12 A400C, а также стеклопластиковая арматура АКС 800 диаметром 10, 12 и 14 мм. Стеклопластиковая арматура АКС 800 была предоставлена для исследования ООО «ТОРГПРОМКОНТРАКТ» (г. Днепр).

Композитная арматура использовалась в качестве рабочей в 6 сериях балок. Объединение стеклопластика с металлическими поперечными хомутами происходило связыванием проволокой.

Металлическая рабочая арматура, кроме первой контрольной серии балок, использовалась в трёх сериях с комбинированным композитно-металлическим армированием растянутой зоны. Объединение металлических стержней продольной арматуры в растянутой и сжатой зонах, с поперечными хомутами, происходило путём электросваривания.

Бетонирование образцов было выполнено бетоном класса С25/30. В качестве мелкого заполнителя использованы отходы обогащения мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов. Уплотнение бетонной смеси выполнялось при помощи глубинного вибратора.

Ключевые слова: стеклопластиковая арматура, отходы, опалубка, комбинированное армирование, серии балок, глубинный вибратор.

Valovoi O.I., Popruha D.V., Lyulchenko Ye.V., Chorna K.V. Building structures reinforced with metal and glass-plastic armature from concretes wastes of ore mining and processing combines

Purpose. To manufacture building structures from concretes made from the wastes of ore mining and processing combines reinforced with metal and glass-plastic reinforcement.

Research methods. Physical production of spatial armature frames with the combined composite-metal reinforcement, preparation of a concrete mixture from the wastes of mining industry and the direct production of natural samples of bending building structures for a further experimental testing.

Scientific novelty. Determination of necessary pre-conditions for the use of glass-plastic armature, in combination with metal one, in the bending building constructions made on concretes from wastes of ore mining and processing combines.

Practical value. Scientific research is being carried out within the framework of the implementation of the initiative research work of РК№0118U000118 "Research of the work of glass-plastic armature in the bending elements made from concretes on the wastes of ore mining and processing combines".

Results. Experimental samples have been manufactured and tempered under the factory conditions of Ltd "Sparta" (Kryvyi Rih). For the pilot study, seven series of samples were made, with the total number of 20 pieces, with dimensions of 120 × 220 × 2070 mm.

As a shape-forming element, a standard metal formwork was used for lintels ЗПБ 21-8. For the reinforcing of samples a metal armature Ø6 A240 and Ø12 A400C was used and glass-plastic armature of AKC 800 with a diameter of 10, 12 and 14 mm. The glass-plastic armature AKC 800 was provided for the study by Ltd. " TORGPROMKONTRAKT" (Dnipro).

The composite armature was used as the working one in 6 series of beams. The combination of the glass-plastics with metal transverse collars was carried out by wiring.

A metal working armature, except the first control series of beams, was used in three series with the combined composite-metallic reinforcement of the stretched zone. The electric welding carried out combination of metallic bars of longitudinal armature in the stretched and compressed zones, with transversal collars.

Concreting of samples was performed with concrete of C25 / 30 class. As a fine aggregate, the wastes of the dressing of the wet magnetic separation of ferruginous quartzite were used. The compression of concrete mixture was executed by means of deep vibrator.

Keywords: glass-plastic reinforcement, wastes, framework, composite reinforcement, series of beams, deep vibrator.

УДК 004.89

Шаповалова Н.Н., Печенін Р.В., Печеніна Н. А. Розробка навчальної платформи для побудови, навчання та дослідження моделей штучного інтелекту

Мета. Розробити платформу побудови, навчання та дослідження моделей штучного інтелекту, яка надає розробнику або аналітику даних можливість швидко створювати, навчати і розгортати моделі машинного навчання. Розроблювальне середовище має повністю охоплювати процес машинного навчання, починаючи з етапу підготовки і аналізу даних, вибір алгоритму, навчання алгоритму, адаптацію та оптимізацію для розгортання, складання прогнозів, закінчуючи збереженням і використанням готової моделі. Розроблювальна платформа має задовольняти вимогам використовувати переваги технології штучного інтелекту як користувачам з глибокими знаннями у досліджуваній області, так і користувачам з незначним досвідом у сфері проектування моделей машинного навчання; використовуватися в процесі навчання дисциплін, присвячених вивченню методів штучного інтелекту, у закладах вищої освіти.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань використовувалися наступні методи: загальнонаукові методи теоретичного дослідження: аналіз, синтез, формалізація, моделювання, узагальнення; методи емпіричного дослідження: вивчення досвіду в області поставленого завдання, тестування отриманої моделі; методи об'єктно-орієнтованого проектування та програмування. В роботі розглянуті спеціальні методи машинного навчання, такі як лінійна регресія, методи боротьби з перенавчанням моделей – регуляризація і кореляційний аналіз.

Наукова новизна. Розроблено ІКТ засіб для побудови, навчання та дослідження моделей штучного інтелекту, методичні рекомендації щодо його використання в процесі викладання дисциплін присвячених вивченню штучного інтелекту у фаховій підготовці студентів закладів вищої освіти.

Практична значимість виконаної роботи полягає в можливості використання навчального середовища AI Platform в процесі навчання дисциплін, присвячених вивченню методів штучного інтелекту і машинного навчання на етапі практичного застосування основних методів цієї галузі.

Результати. Розроблено середовище AI Platform, яке дає можливість будувати, навчати та досліджувати методи і моделі штучного інтелекту, розроблено рекомендації щодо використання середовища у фаховій підготовці студентів закладів вищої освіти.

Ключові слова: навчальна платформа, штучний інтелект, модель машинного навчання, регуляризація, перенавчання, функціонал якості.

Шаповалова Н.Н., Печенін Р.В., Печенина Н.А. Разработка учебной платформы для построения, обучения и исследования моделей искусственного интеллекта

Цель. Разработать платформу построения, обучения и исследования моделей искусственного интеллекта, которая предоставляет разработчику или аналитику данных возможность быстро создавать, обучать и развертывать модели машинного обучения. Разрабатываемая среда должна охватывать процесс машинного обучения, начиная с этапа подготовки и анализа данных, выбор алгоритма, обучение алгоритма, адаптацию и оптимизацию для развертывания, составление прогнозов, заканчивая сохранением и использованием готовой модели. Разрабатываемая платформа должна удовлетворять требованиям использовать преимущества технологии искусственного интеллекта пользователям с глубокими знаниями в изучаемой области, так и пользователям с незначительным опытом в сфере проектирования моделей машинного обучения; использоваться в процессе обучения дисциплинам, посвященных изучению методов искусственного интеллекта, в высших учебных заведениях.

Методы исследований. Для решения поставленных задач использовались следующие методы: общенаучные методы теоретического исследования: анализ, синтез, формализация, моделирование, обобщение; методы эмпирического исследования: изучение опыта в области поставленной задачи, тестирование полученной модели; методы объектно-ориентированного проектирования и программирования. В работе рассмотрены специальные методы машинного обучения, такие как линейная регрессия, методы борьбы с переобучением моделей – регуляризация и корреляционный анализ.

Научная новизна. Разработано ИКТ средство для построения, обучения и исследования моделей искусственного интеллекта, методические рекомендации по его использованию в процессе преподавания дисциплин, посвященных изучению искусственного интеллекта в профессиональной подготовке студентов высших учебных заведений.

Практическая значимость выполненной работы заключается в возможности использования учебной среды AI Platform в процессе обучения дисциплинам, посвященных изучению методов искусственного интеллекта и машинного обучения на этапе практического применения основных методов этой отрасли.

Результаты. Разработана среда AI Platform, которая дает возможность строить, учить и исследовать методы и модели искусственного интеллекта, разработаны рекомендации по использованию среды в профессиональной подготовке студентов высших учебных заведений.

Ключевые слова: учебная платформа, искусственный интеллект, модель машинного обучения, регуляризации, переобучение, функционал качества.

Shapovalova N. N., Pechenin R. V., Pechenina N. A. Educational platform for designing, training and researching models of artificial intelligence

Purpose. Develop a platform for constructing, learning and researching artificial intelligence models that allows the developer or data analyst to create quickly, teach and deploy machine learning models. The development environment should fully cover the process of machine learning, from the stage of preparation and analysis of data, algorithm selection, algorithm training, adaptation and optimization for deployment, forecasting, ending with preservation and use of the finished model. The development platform should meet the requirements to use the advantages of artificial intelligence technology as users with deep knowledge in the area under study, as well as users with little experience in the design of machine learning models; use in the process of teaching disciplines devoted to the study of methods of artificial intelligence, in institutions of higher education.

Research methods. To solve the problems, the following methods were used: general scientific methods of theoretical research: analysis, synthesis, formalization, modeling, generalization; methods of empirical research: learning experience in the area of the task, testing the model; methods of object-oriented design and programming. The article reviews special methods of machine learning such as linear regression, methods for decrease overfitting of models - regularization and correlation analysis.

Scientific novelty. The ICT tool for constructing, teaching and researching models of artificial intelligence, methodological recommendations for its use in the course of teaching disciplines devoted to the study of artificial intelligence in the professional training of students of higher education institutions is developed.

The practical value of the article performed is the ability to use the learning environment of the AI Platform in the process of teaching disciplines devoted to the study of methods of artificial intelligence and machine learning at the stage of practical application of the basic methods of this industry.

Results. The AI Platform environment has been developed, which provides the opportunity to build, teach and explore methods and models of artificial intelligence, and develop recommendations for the use of the environment in the professional training of students in higher education institutions.

Keywords: artificial intelligence, model of machine learning, regularization, retraining, functional quality.

УДК 528.44

Паламар А.Ю., Сирбу А.В. Теоретично-методичне обґрунтування робіт із землеустрою щодо зміни меж адміністративно-територіальних утворень

Мета. В статті проведений аналіз щодо зміни меж адміністративно-територіальних утворень. Проаналізовано чинне законодавство України у сфері містобудівної діяльності та методику і порядок виконання зміни меж адміністративно-територіальних утворень. Встановлено, що адміністративно-територіальний устрій України являє собою таку організацію її території, яка передбачає поділ останньої на адміністративно-територіальні утворення (одиниці), що є частинами єдиної території нашої держави, просторовою основою організації й діяльності місцевих органів державної влади та самоврядування. Основною метою статті є дослідження проекту землеустрою щодо встановлення (зміни) меж адміністративно-територіальних утворень (населених пунктів) та створення методики виконання робіт.

Методи дослідження. Під час проведення досліджень використано методи математичної статистики, технології проведення кадастрових робіт.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в дослідженні точності геоприв'язки зображення (карти) у координати в залежності від якості сканованого зображення.

Практична значимість. Межі адміністративно-територіальних утворень не є постійними. З розвитком населених пунктів та збільшенням кількості їх жителів вони можуть збільшуватися завдяки включенню до них нових земельних ділянок. Прийняття рішень про утворення і ліквідацію районів, встановлення і зміну меж районів і міст, віднесення населених пунктів до категорії міст належить до повноважень Верховної Ради України. Вона приймає такі рішення за поданням Верховної Ради обласних Київської та міських рад. Рішення про встановлення та зміну меж сіл і селищ приймаються обласними, у містах рад, що підкреслює практичну значимість роботи.

Результати. Розглянуто загальні Київською та міськими радами за поданням районних та відповідних сільських, селищних рад. Встановлення та зміна меж районів у містах провадяться на підставі рішень міської ради, які приймаються за поданням відповідних районних закони та нормативно-правові акти, які використовуються для зміни меж адміністративно-територіальних утворень.

Ключові слова: теоретико-методичне обґрунтування, землеустрій, межі адміністративно-територіальних утворень, населений пункт, земельний кодекс України.

Паламар А.Ю., Сирбу А.В. Теоретико-методическое обоснование работ по землеустройству по изменению границ административно-территориальных образований

Цель. В статье проведен анализ по изменению границ административно-территориальных образований. Проанализировано действующее законодательство Украины в сфере градостроительной деятельности, методика и порядок выполнения изменения границ административно-территориальных образований. Установлено, что административно-территориальное устройство Украины представляет собой такую организацию ее территории, предусматривающей разделение последней на административно-территориальные образования (единицы), являющиеся частями единой территории нашего государства, пространственной основой организации и деятельности местных органов государственной власти и самоуправления. Основной целью статьи является исследование проекта землеустройства

по установленню (изменения) границ административно-территориальных образований (населенных пунктов) и создании методики выполнения работ.

Методы исследований. При проведении исследований использованы методы математической статистики, технологии проведения кадастровых работ.

Научная новизна исследования заключается в исследовании точности геопривязки изображения (карты) в координаты в зависимости от качества отсканированного изображения.

Практическая значимость. Границы административно-территориальных образований не являются постоянными. С развитием населенных пунктов и увеличением количества их жителей они могут увеличиваться благодаря включению в них новых земельных участков. Принятие решений о создании и ликвидации районов, установлении и изменении границ районов и городов, отнесение населенных пунктов к категории городов относится к полномочиям Верховной Рады Украины. Она принимает такие решения по представлению Верховной Рады областных, Киевской и городских советов. Решение об установлении и изменении границ сел и поселков принимаются областными, Киевской и городскими советами по представлению районных и соответствующих сельских, поселковых советов. Установление и изменение границ районов в городах производятся на основании решений городского совета, которые принимаются по представлению соответствующих районных в городах советов, что подчеркивает практическую значимость работы.

Результаты. Рассмотрены общие законы и нормативно-правовые акты, которые используются для изменения границ административно-территориальных образований.

Ключевые слова: теоретико-методическое обоснование, землеустройство, границы административно-территориальных образований, населенный пункт, земельный кодекс Украины.

Palamar A. Yu., Sirbu A.V. Theoretical and methodological grounds for working from the land for the change between administrative-territorial developments

Purpose. The article analyzes the changes in the boundaries of administrative-territorial entities. The current legislation of Ukraine in the field of urban development activity and the methodology and procedure for implementing changes in the boundaries of administrative-territorial entities are analyzed. It is established that the administrative-territorial structure of Ukraine is an organization of its territory, which provides for the division of the latter into the administrative-territorial entities (units) that are parts of the single territory of our state, the spatial basis of organization and activity of local bodies of state power and self-government. The main objective of the article is to study the project of land management in relation to the establishment (change) of the boundaries of administrative-territorial entities (settlements) and the creation of a methodology for the execution of works.

Research methods. During research, methods of mathematical statistics, technology of cadastral works are used.

The **scientific novelty** of the results obtained is the study of the accuracy of the geo-referencing of the image (map) to the coordinates, depending on the quality of the scanned image.

Practical value. The boundaries of administrative-territorial entities are not permanent. With the development of settlements and the increase in the number of their inhabitants, they can increase due to the inclusion of new land plots. Adoption of decisions on the formation and liquidation of districts, the establishment and change of borders between regions and cities, the classification of settlements into the category of cities falls within the authority of the Verkhovna Rada of Ukraine. It makes such decisions on the submission of the Verkhovna Rada of regional Kyiv and city councils. The decision to establish and change the boundaries of villages and settlements shall be taken by regional, Kyiv and city councils upon the submission of district and corresponding village and town councils. The establishment and change of the boundaries of the districts in the cities is carried out on the basis of decisions of the city council, which are taken at the submission of the respective district councils in the cities, which emphasizes the practical significance of the work.

Results The general laws and normative legal acts used to change the boundaries of administrative-territorial entities are considered.

Keywords: theoretical and methodological substantiation, land management, boundaries of administrative-territorial units, settlement, land code of Ukraine.

УДК 624.153.524

Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Хоруженко І.В. Дослідження впливу геометричних параметрів складчастого фундаменту-оболонки на величину несучої здатності основи

Мета. Проектування оптимальних конструктивних рішень з урахуванням конкретних умов експлуатації одна з головних інженерних задач. Впровадження в роботу програмних комплексів на основі МКЕ при моделюванні ґрунтової основи, її взаємодії з фундаментною конструкцією, аналізу роботи системи в цілому. Моделювання сумісної роботи фундаментної конструкції складної форми та ґрунтової основи, де необхідно підібрати модель ґрунтової основи, врахувати всі вихідні параметри, змітувати роботу фундаменту до моменту повного залучення ґрунтової основи у роботу.

Методи дослідження. При вирішенні контактних задач застосовується метод кінцевих елементів, що активно використовується в сучасних програмних комплексах для моделюванні інженерних конструкцій, взаємодій та явищ. Програмні комплекси на основі методу кінцевих елементів, наприклад: Feadam, Sage-Crisp, Plaxis, Ansys, LiraSap, Nastran, ABAQUS та інші.

Наукова новизна. Встановлення залежності між зміною геометричних параметрів штапу та несучою здатністю ґрунтової основи.

Практична значимість. Дослідження дають змогу оцінити роботу структурних фундаментів при зміні геометричних параметрів, математичне моделювання дозволяє всесторонньо проаналізувати результати та врахувати недоліки системи при подальших дослідженнях.

Результати. Встановлено, що при моделюванні особливу увагу слід звертати на призначення початкових параметрів системи, на вибір типу кінцевих елементів і оптимальної моделі ґрунтової основи. Було виконано моделювання

взаємодії складчастого фундаменту з основою в умовах плоскої задачі за допомогою програмного комплексу LiraSap-2013. Проаналізовано характер роботи фундаменту при різних умовах взаємодії з основою та при різних розмірах опорних частин складки. В процесі аналізу було встановлено, що при математичному моделюванні фундаментної складки в плоскій задачі зміна ширина опорної частини суттєво не впливає на несучу здатність основи. Проте це може бути наслідком того, що аналіз виконувався в плоскій постановці. Тому данні результати є основою для подальшого аналізу та досліджень при моделюванні об'ємної задачі.

Ключові слова: складчастий фундамент, метод кінцевих елементів, напружено-деформований стан

Тимченко Р.А., Кришко Д.А., Хоруженко И.В. Исследование влияния геометрических параметров складчатого фундамента-оболочки на величину несущей способности основания

Цель. Проектирования оптимальных конструктивных решений с учетом конкретных условий эксплуатации одна из главных инженерных задач. Внедрение в работу программных комплексов на основе МКЭ при моделировании грунтового основания, ее взаимодействия с фундаментной конструкции, анализа работы системы в целом. Моделирование совместной работы фундаментной конструкции сложной формы и грунтового основания, где необходимо подобрать модель грунтового основания, учесть все выходные параметры, смитировать работу фундамента до момента полного привлечения грунтового основания в работу.

Методы исследования. При решении контактных задач применяется метод конечных элементов, активно используется в современных программных комплексах для моделирования инженерных конструкций, взаимодействий и явлений. Программные комплексы на основе метода конечных элементов, например, Feadam, Sage-Crisp, Plaxis, Ansys, LiraSap, Nastran, ABAQUS и др.

Научная новизна. Установление зависимости между изменением геометрических параметров штампа и несущей способностью грунтового основания.

Практическая значимость. Исследования позволяют оценить работу структурных фундаментов при изменении геометрических параметров, математическое моделирование позволяет всесторонне проанализировать результаты и учесть недостатки системы при дальнейших исследованиях.

Результаты. Установлено, что при моделировании особое внимание следует обращать на назначение начальных параметров системы, на выбор типа конечных элементов и оптимальной модели грунтового основания. Было выполнено моделирование взаимодействия складчатого фундамента с основанием в условиях плоской задачи с помощью программного комплекса LiraSap-2013. Проанализирован характер работы фундамента при различных условиях взаимодействия с основанием и при различных размерах опорных частей складки. В процессе анализа было установлено, что при математическом моделировании фундаментной складки в плоские задачи изменение ширина опорной части существенно не влияет на несущую способность основания. Однако это может быть следствием того, что анализ выполнялся в плоской постановке. Поэтому данные результаты являются основой для дальнейшего анализа и исследований при моделировании объемной задачи.

Ключевые слова: складчатый фундамент, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние

Timchenko R.O., D Krishko.A., I Khoruzhenko.V. Influence of geometric parameters of the folded foundation on the magnitude of the bearing capacity of the base

Purpose. Designing optimal construction solutions, taking into account specific operating conditions, is one of the main engineering tasks. Implementation of software systems based on FEM in the simulation of the soil basis, its interaction with the basic design, analysis of the system as a whole. Simulation of the joint work of the basic structure of the complex form and the soil base, where it is necessary to choose a model of the soil basis, to take into account all the initial parameters, to simulate the work of the foundation until the full involvement of the soil basis in the work.

Research methods. The finite element method is used in solving contact problems; it is actively used in modern software systems for modeling engineering structures, interactions and phenomena. There are various software systems based on the finite element method, for example: Feadam, Sage-Crisp, Plaxis, Ansys, LiraSap, Nastran, ABAQUS.

Scientific novelty. The determination of a relation between the change of the geometric parameters of the punch and the bearing capacity of soil base.

Practical value. Studies allow to evaluate the work of structural foundations when changing geometric parameters, mathematical modeling allows you to comprehensively analyze the results and take into account the shortcomings of the system with further research.

Results. Found that during modeling particular attention should be paid to the appointment of the initial parameters of the system, to make choice in type of finite elements and the optimal model of the soil base. Mathematical modeling of the folded foundation's interaction with the base in the conditions of the plane problem was performed in LiraSap-2013. The nature of the foundation's work under various conditions of interaction with the base and at different sizes of the supporting parts of the fold is analyzed. In the course of the analysis it was found that during mathematical modeling of the foundation fold in a plane problem, the change in the width of the support part does not significantly affect the bearing capacity of the base. However, this may be due to the fact that the analysis was carried out in a flat setting. Therefore, these results are the basis for further analysis and research in modeling the volume problem.

Keywords: gusseted foundation, finite element method, stress-strain state.

УДК 621.314.26

Пересунько И.И. Возможности применения мощных симметричных многоуровневых каскадных инверторов в электроприводе вентиляторами главного проветривания

Цель. Выдвинуть требования к построению мощного электропривода вентилятора главного проветривания железорудных шахт, и возможность применения мощных симметричных многоуровневых каскадных инверторов с применением мостовых H ячеек.

Методы исследования. При проведении рассматриваемого в статье исследования решаются путем применения, как математического аппарата так, и были использованы основные теории преобразователей электропривода, и проведено математическое моделирование.

Научная новизна. Разработка высоковольтных мощных преобразователей с использованием современных многоуровневых каскадных инверторов на основе H – мостовых ячеек, для возможности регулирования скорости и производительности вентиляторов главного проветривания железорудных шахт

Практическая значимость. Повышение энергоэффективности железорудных шахт за счет внедрения регулируемого электропривода вентилятора главного проветривания, рассмотрено возможность применения многоуровневых каскадных схем инверторов.

Результаты. Мировые тенденции энергоресурсосбережения, а также современные направления развития техники и технологии железорудного производства доказывают, что требуется создание регулируемого электропривода вентиляторами главного проветривания (ВГП), к которым выдвинуты общепринятые требования по безопасности, одно из главных это непрерывное обеспечение подземных работ необходимым количеством свежего воздуха. Вентиляторы главного проветривания используют мощный высоковольтный электропривод с синхронным электрическим двигателем. В данное время для регулирования производительности вентиляторами главного проветривания используется повороты лопаток, и поворот заслонок. Следует учитывать требования к созданию регулируемого электропривода с максимальной производительностью ВГП. При совершенствовании систем вентиляции на железорудных шахтах и разработке энергосберегающей части функционально-технических требований к регулируемого электропривода вентиляторами главного проветривания важно рассмотреть возможные энергосберегающие мероприятия. Одним из таких является создание мощного высоковольтного преобразователя, который позволит увеличить максимальную эффективность электропривода ВГП. В данном исследовании была рассмотрена возможность построения силового преобразователя на основе многоуровневого каскадного инвертора с использованием H – мостовых ячеек и также приведены достоинства и недостатки данных преобразователей.

Ключевые слова: синхронный двигатель, преобразователь, многоуровневый каскадный инвертор, H-мостовые ячейки, вентиляторы главного проветривания.

Пересунько І.І. Можливості застосування потужних симетричних багаторівневих каскадних інверторів в електроприводі вентилятора головного провітрювання

Мета. Висунути вимоги до побудови потужного електроприводу вентилятора головного провітрювання залізорудних шахт, і можливість застосування потужних симетричних багаторівневих каскадних інверторів із застосуванням мостових H комірок.

Методи дослідження. При проведенні дослідження в статті вирішуються застосування, як математичного апарату так, і були використані основні теорії перетворювачів електроприводу, і проведено математичне моделювання.

Наукова новизна. Розробка високовольтних потужних перетворювачів з використанням сучасних багаторівневих каскадних інверторів на основі H - мостових комірок, для можливості регулювання швидкості і продуктивності вентиляторів головного провітрювання залізорудних шахтах.

Практична значимість. Підвищення енергоефективності залізорудних шахт за рахунок впровадження регульованого електроприводу вентилятора головного провітрювання, розглянуто можливість застосування багаторівневих каскадних схем інверторів.

Результати. Світові тенденції енергоресурсозбереження, а також сучасні напрямки розвитку техніки і технології залізорудного виробництва доводять, що потрібне створення регульованого електроприводу вентиляторами головного провітрювання (ВГП), до яких висунути загальноприйнятї вимоги з безпеки, одне з головних це безперервне забезпечення підземних робіт необхідною кількістю свіжого повітря. Вентилятори головного провітрювання використовують потужний високовольтний електропривод з синхронним електричним двигуном. В даний час для регулювання продуктивності вентиляторами головного провітрювання використовується повороти лопаток, і поворот заслінок. Слід врахувати вимоги до створення регульованого електроприводу з максимальною продуктивністю ВГП. При вдосконаленні систем вентиляції на залізорудних шахтах і розробці енергосберігаючої частини функціонально-технічних вимог до регульованого електроприводу вентиляторами головного провітрювання важливо розглянути можливі енергосберігаючі заходи. Одним з таких є створення потужного високовольтного перетворювача, який дозволить збільшити максимальну ефективність електроприводу ВГП. В даному дослідженні була розглянута можливість побудови силового перетворювача на основі багаторівневого каскадного інвертора з використанням H - мостових осередків і також наведені переваги і недоліки даних перетворювачів.

Ключові слова: синхронний двигун, перетворювач, багаторівневий каскадний інвертор, H-мостові комірки, вентилятори головного провітрювання.

Peresunko I.I. Powerful symmetric multilevel cascade inverters in the electric drive of main ventilation fans

Purpose. To put forward the requirements for building a powerful electric drive of the main ventilation fan of iron ore mines, and the possibility of using powerful symmetric multi-level cascade inverters using bridge H cells.

Research methods. The problems are solved by applying both the mathematical apparatus and the main theories of electric drive converters; mathematical modeling was carried out.

Scientific novelty. Development of high-voltage power converters using modern multi-level cascade inverters based on H - bridge cells, to be able to control the speed and performance of fans of the main ventilation of iron ore mines

Practical value. Improving the energy efficiency of iron ore mines through the introduction of an adjustable electric drive of the main ventilation fan, the possibility of using multi-level cascade inverter circuits was considered.

Results. Global trends in energy and resource saving, as well as modern trends in the development of technology and technology of iron ore production, prove that it is necessary to create an adjustable electric drive with main ventilation fans, to which generally accepted safety requirements are put forward, one of the main ones is the continuous provision of underground works with the necessary amount of fresh air. Main ventilation fans use a powerful high-voltage electric drive with a synchronous electric motor. At this time, to adjust the performance of the main ventilation fans used turns the blades, and the

rotation of the valves. Consideration should be given to the creation of a controlled electric drive with a maximum main ventilation fan performance. When improving ventilation systems in iron ore mines and developing the energy-saving part of the functional-technical requirements for an adjustable electric drive by main ventilation fans, it is important to consider possible energy-saving measures. One of these is the creation of a powerful high-voltage converter, which will increase the maximum efficiency of the main ventilation fan electric drive. In this study, the possibility of building a power converter based on a multilevel cascade inverter using H-bridge cells was considered and the advantages and disadvantages of these converters were also presented.

Keywords: synchronous motor, converter, multi-level cascade inverter, H-bridge cells, main ventilation fans.

УДК 621.311.214

Сінчук І.О., Касаткіна І.В., Дозоренко О.В., Краснополський Р.І. Новий погляд на вирішення проблеми підвищення енергоефективності водовідливних установок залізрудних підприємств

Мета. Метою даної роботи є оцінка можливостей та розробка аспектів теорії підвищення ефективності споживання електричної енергії в умовах вітчизняних залізрудних шахт шляхом використання гідроаккумуляторів на основі головних насосних установок.

Для досягнення поставленої мети проаналізовані напрямки розширення кордонів функціонування головних насосних установок водовідливних систем залізрудних шахт з можливістю використання їх в режимі генераторів електричної енергії (міні гідроакмулюючих електростанцій), що дасть можливість підвищити електроенергоефективність даних видів підприємств.

Це дозволить підприємствам споживати в години максимуму, коли енергія має максимальну ціну, значно менше електроенергії, що дозволить відповідно, знизити, приблизно на 20%, плату за електроенергію. Може бути також поліпшений режим роботи системи електропостачання: знижені втрати напруги і енергії, поліпшений коефіцієнт потужності.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач і аналізу прийнятих схемотехнічних та алгоритмічних рішень використані наступні методи дослідження: методи математичної статистики – для дослідження енергоспоживання водовідливних систем залізрудних шахт; методи розрахунку електричних кіл – для розрахунку потужності гідрогенераторної установки при перетворенні енергії перекачуваної води в електричну енергію.

Наукова новизна. Вперше оцінена техніко-економічна ефективність та запропоновано напрямок підвищення енергоефективного функціонування насосних установок водовідливних систем в умовах вітчизняних залізрудних шахт шляхом використання їх у зворотному гідро-аккумуляторному режимі і тим самим перетворення частини енергії технічної води в електричну енергію для живлення підземних споживачів.

Практична значимість. Застосування гідрогенераторів-аккумуляторів, які працюють разом з насосними установками шахт і кар'єрів дозволяє в години максимуму енергосистеми (ранкового і вечірнього) виробляти електроенергію за рахунок енергії води, що спускається з поверхні шахти (кар'єру), поповнюючи водозбірник.

Результати. Покращення ефективності роботи системи енергопостачання залізрудних шахт реструктуризувавши її зі структури централізованого в варіант структури електропостачання з розсередженою генерацією, що дозволить знизити витрати напруги та потужності, підвищити коефіцієнт потужності, а також знизити матеріальні затрати.

Ключові слова: водовідлив, шахта, гідро-аккумулятор, перетворення енергії, електроенергоефективність.

Синчук И.А., Касаткина И.В., Дозоренко А.В., Краснополский Р.И. Новый взгляд на решение проблемы повышения энергоэффективности водоотливных установок железорудных предприятий

Цель. Целью данной работы является оценка возможностей и разработка аспектов теории повышения эффективности потребления электрической энергии в условиях отечественных железорудных шахт путем использования гидроаккумуляторов на основе главных насосных установок. Для достижения поставленной цели проанализированы направления расширения границ функционирования главных насосных установок водоотливных систем железорудных шахт с возможностью использования их в режиме генераторов электрической энергии (мини гидроаккумулирующих электростанций), которые дадут возможность повысить электроэнергоэффективность данных видов предприятий. Это позволит предприятиям потреблять в часы максимума, когда энергия имеет максимальную цену, гораздо меньше электроэнергии, что позволит соответственно, снизить, приблизительно на 20%, плату за электроэнергию. Может быть также улучшен режим работы системы электроснабжения: снижены потери напряжения и энергии, улучшен коэффициент мощности.

Методы исследования. Для решения поставленных задач и анализа принятых схемотехнических и алгоритмических решений использованы следующие методы исследования: методы математической статистики - для исследования энергопотребления водоотливных систем железорудных шахт; методы расчета электрических цепей - для расчета мощности гидрогенераторной установки при превращении энергии перекачиваемой воды в электрическую энергию.

Научная новизна. Впервые оценена технико-экономическая эффективность и предложено направление повышения энергоэффективного функционирования насосных установок водоотливных систем в условиях отечественных железорудных шахт путем использования их в обратном гидро-аккумуляторном режиме и тем самым превращения части энергии технической воды в электрическую энергию для питания подземных потребителей.

Практическая значимость. Применение гидрогенераторов-аккумуляторов, которые работают вместе с насосными установками шахт и карьеров позволяет в часы максимума энергосистемы (утреннего и вечернего) производить электроэнергию за счет энергии воды, которая спускается с поверхности шахты (карьера), пополняя водосборник.

Результаты. Улучшение эффективности работы системы электроснабжения железорудных шахт реструктуризировав ее из структуры централизованного в вариант структуры электроснабжения с рассредоточенной генерацией, которая позволит снизить расходы напряжения и мощности, повысить коэффициент мощности, а также снизить материальные затраты.

Ключевые слова: водоотлив, шахта, гидро-аккумулятор, превращение энергии, электроэнергоэффективность.

Sinchuk I.O., Kasatkina I.V., Dosorenko O.V., R Krasnopolskyi.I. Enhancing energy efficiency of water-resistant installations of surface enterprises

Purpose. To develop the theory of increasing the efficiency of the consumption of electric energy in the conditions of domestic iron ore mines through the use of hydraulic accumulators based on the main pumping units. Expanding the main pumping installations of the drainage systems of iron ore mines using them in the mode of electric power generators (mini pumped storage power plants) makes it possible to increase the electric energy efficiency of the enterprises. This allows enterprises to consume much less electricity at peak hours, when energy has a maximum price, respectively, to reduce up to 20% the charge for electricity. The mode of operation of the power supply system can also be improved: the voltage and energy losses are reduced, the power factor is improved.

Research methods. Mathematical statistics methods - to study the energy consumption of the drainage systems of iron ore mines; methods for calculating electrical circuits - to calculate the power of a hydrogenerating installation for converting the energy of pumped water into electrical energy.

Scientific novelty. Technical and economic efficiency was assessed for the first time and a direction was proposed to improve the energy-efficient operation of pumping systems for drainage systems under conditions of domestic iron ore mines by using them in the reverse hydro-battery mode and thereby converting part of the process water energy into electrical energy to power underground consumers.

Practical value. The use of hydrogenerators-accumulators that work together with pumping installations of mines and quarries allows, during the hours of the maximum of the power system (morning and evening), to produce electricity due to the energy of water that descends from the surface of the mine (quarry), replenishing the catchment basin.

Results. Improving the efficiency of the power supply system of iron ore mines by restructuring it from a centralized structure into a variant of the power supply structure with distributed generation, which will reduce the cost of voltage and power, increase the power factor, and reduce material costs.

Keywords: drainage, mine, hydro-accumulator, energy conversion, electric energy efficiency.

УДК 622.7: 004.94

Савицький О.І., Тимошенко М.А. Моделювання секції збагачення залізної руди за допомогою середовища програмування PAC Unity Pro XL

Мета. Метою даної роботи є створення моделі ділянки секції збагачувальної фабрики з метою моніторингу та контролю основних показників роботи технологічних механізмів та стану оброблюваного продукту на різних етапах операцій збагачення. Складність, інерційність, нестационарність та динамічність технологічних процесів, що відбуваються на збагачувальній фабриці, наявність складних зв'язків та рециклів між технологічними механізмами обумовлюють застосування нестандартного підходу для створення моделі секції, а саме розглядання моделі з точки зору застосування програмованих логічних контролерів і, відповідно, використання для створення моделі середовища програмування PAC.

Методи дослідження. Підтверджено можливість застосування нетрадиційного програмного середовища для моделювання роботи секції збагачувальної фабрики. У той час коли для створення моделі об'єкту керування зазвичай використовуються пакети чисто математичного характеру, як Matlab, Mathcad, LabVIEW, дана стаття розглядає можливість застосування для поставленої мети середовища для програмування PAC, а саме Unity Pro XL фірми Schneider Electric.

Наукова новизна. Розв'язання поставленої задачі складає актуальність роботи. Її метою є створення моделі секції фабрики збагачення залізної руди з ціллю контролю основних показників роботи технологічних агрегатів та стану пульпи на різних етапах збагачення.

Практична значимість. Обґрунтовано застосування середовища програмування PAC для створення моделі секції збагачувальної фабрики. Створено попередню спрощену модель об'єкту керування, що може бути модернізована і доповнена для створення системи керування технологічним процесом з урахуванням більшої кількості параметрів управління.

Результати. Розроблена модель дозволяє контролювати найважливіші параметри перебігу збагачувальних процесів та стану оброблюваного продукту. Прив'язка значень цих параметрів до значень змінних у PAC дозволить у реальних умовах простіше реалізувати підключення реального обладнання до математичної моделі в ПК. При створенні моделі враховувалися лише найголовніші параметри, які найлегше вимірювати та контролювати у реальних умовах, тому модель є спрощеною. Напрямок подальших досліджень є удосконалення моделі моніторингу та перетворення її у повноцінну модель системи керування.

Ключові слова: збагачення, залізна руда, автоматизація, моделювання, PAC, Unity Pro XL.

Савицький А.И., Тимошенко М.А. Моделирование секции обогащения железной руды с помощью среды программирования PAC Unity Pro XL

Цель. Целью данной работы является создание модели участка секции обогатительной фабрики с целью мониторинга и контроля основных показателей работы технологических механизмов и состояния обрабатываемого продукта на различных этапах операций обогащения. Сложность, инерционность, нестационарность и динамичность технологических процессов, происходящих на обогатительной фабрике, наличие сложных связей и рецикла между технологическими механизмами обуславливают применение нестандартного подхода для создания модели секции, а именно рассмотрение модели с точки зрения применения программируемых логических контроллеров и, соответственно, использование для создания модели среды программирования PAC.

Методы исследования. Подтверждена возможность применения нетрадиционной программной среды для моделирования работы секции обогатительной фабрики. В то время как для создания модели объекта управления обычно используются пакеты чисто математического характера, как Matlab, Mathcad, LabVIEW, данная статья рассматривает возможность применения для поставленной цели среды для программирования PAC, а именно Unity Pro XL фирмы Schneider Electric.

Научна новизна. Решение поставленной задачи составляет актуальность работы. Ее целью является создание модели секции фабрики обогащения железной руды с целью контроля основных показателей работы технологических агрегатов и состояния пульпы на разных этапах обогащения.

Практическая значимость. Обосновано применение среды программирования PAC для создания модели секции обогатительной фабрики. Создана предварительно упрощенная модель объекта управления, которая может быть модернизирована и дополнена для создания системы управления технологическим процессом с учетом большего количества параметров управления.

Результаты. Разработанная модель позволяет контролировать важнейшие параметры течения обогатительных процессов и состояния обрабатываемого продукта. Привязка значений этих параметров до значений переменных в PAC позволит в реальных условиях проще реализовывать подключения реального оборудования к математической модели в ПК. При создании модели учитывались только главные параметры, которые легче измерять и контролировать в реальных условиях, поэтому модель является упрощенной направлением дальнейших исследований является совершенствование модели мониторинга и превращения ее в полноценную модель системы управления.

Ключевые слова: обогащение, железная руда, автоматизация, моделирование, PAC, Unity Pro XL.

Savytskyi O.I., Tymoshenko M.A. Modeling of iron ore enrichment section by using PLC programming environment Unity Pro XL

Purpose. To create a model section of the dressing factory in order to monitor and control the main operation indicators of technological mechanisms and the state of the processed product at various stages of enrichment operations. The complexity, inertia, non-stationary and dynamical nature of the technological processes taking place at the enrichment factory, the presence of complex connections and recycling between the technological mechanisms, involves the use of a non-standard approach to create a section model, namely the consideration of the model in terms of the use of programmable logic controllers and, accordingly, use to create a plc programming environment model.

Research methods. The use of an unconventional software environment for modeling the operation of the section of the enrichment plant. When creating a model for a management object is usually used purely mathematical packets like Matlab, Mathcad, LabVIEW. This article considers the application of the PAC programming environment, namely, the Unity Pro XL from Schneider Electric.

Scientific novelty. A model of a section of an iron ore factory allows to control the main performance indicators of the technological units and the state of the pulp at different stages of enrichment.

Practical significance. The use of the PLC programming environment to create a model of the operation of the enrichment plant is substantiated. A preliminary simplified model of the control object was created that can be upgraded and supplemented to create a process control system based on a greater number of control parameters.

Results. The developed model allows controlling the most important parameters of the enrichment processes and the state of the processed product. Binding the values of these parameters to the values of variables in the PAC in real terms makes it easier to implement the connection of the real equipment to the mathematical model in the PC. When creating the model, only the most important parameters were taken into account which are easier to measure and control in real terms, so the model is simplified. The direction of further research is to improve the model of monitoring and transform it into a complete model of the control system.

Keywords: enrichment, iron ore, automation, modelling, PLC, Unity Pro XL.

УДК 622.232.72

Вусик О.О., Пижик А.М. Застосування безвибухової технології відпрацювання гірських порід при використанні комбайнів фрезерного типу в умовах розробки залізрудних кар'єрів

Мета. Обґрунтувати можливість використання безвибухової технології пошарового фрезерування напівскельних і скельних гірських порід фрезерними комбайнами на залізрудних кар'єрах.

Методи дослідження. Комплексний аналіз теоретичної і практичної ефективності застосування комбайнів фрезерного типу для реалізації безвибухової технології ведення відкритих гірничих робіт. Аналіз перспективи переозброєння залізрудних кар'єрів сучасними високопродуктивними машинами пошарового фрезерування. Аналіз особливостей відпрацювання породного масиву комбайнами фрезерного типу без використання буро-вибухових робіт з урахуванням фізико-механічних властивостей порід.

Наукова новизна. Розширення області застосування кар'єрних комбайнів визначається встановленими взаємозв'язками між технологічними параметрами роботи комбайнів фрезерного типу і параметрами елементів системи розробки родовищ корисних копалин в діючих складних умовах відпрацювання залізрудних покладів. Підвищення техніко-економічних показників роботи кар'єру за рахунок раціонального використання кар'єрних комбайнів фрезерного типу у комплексі технологічних процесів сучасних гірничодобувних підприємств.

Практична значимість. Використання гірничих комбайнів в діючій технології відкритої розробки напівскельних і скельних порід витісняє технологічний процес підготовки порід до виїмання вибухом. В умовах досягнення значної глибини відпрацювання порід, комбайновим способом підвищується ефективність вилучення порід розкрити та збільшується активність робочої зони. Комбайни фрезерного типу добре себе рекомендують в складних гірничотехнічних та гірничо-геологічних умовах роботи глибоких залізрудних кар'єрах.

Результати. Встановлено, що подальше вивчення роботи комбайнів фрезерного типу в технологічних комплексах кар'єру, дасть можливість використовувати ефективну безвибухову розробку породного масиву. Завдяки удосконаленню критеріїв ефективної оцінки комбайнового способу відпрацювання гірських порід виникає можливість економічно доцільно адаптувати даний спосіб до умов діючої технології відкритої розробки. Обґрунтування оптимальних параметрів роботи гірничого обладнання та комбайнів пошарового фрезерування є важливою задачею, котра забезпечить злагоджену роботу кар'єру з підвищенням техніко-економічних показників гірничодобувного підприємства при відсутності буро-підривних робіт.

Ключові слова: масив, знеміцнення, фрезерний комбайн, технологічні процеси, безвибухова розробка.

Вусык О.А., Пыжик А.Н. Применение безвзрывной технологии обработки породного массива при использовании комбайнов фрезерного типа в условиях разработки железорудных карьеров

Цель. Обосновать возможность использования безвзрывной технологии послойного фрезерования полускальных и скальных горных пород фрезерными комбайнами на железорудных карьерах.

Методы исследования. Комплексный анализ теоретической и практической эффективности применения комбайнов фрезерного типа для реализации безвзрывной технологии ведения открытых горных работ. Анализ перспективы перевооружения железорудных карьеров современными высокопроизводительными машинами послойного фрезерования. Анализ особенностей обработки породного массива комбайнами фрезерного типа без использования буровзрывных работ с учетом физико-механических свойств пород.

Научная новизна. Расширение области применения карьерных комбайнов определяется установленными взаимосвязями между технологическими параметрами работы комбайнов фрезерного типа и параметрами элементов системы разработки месторождений полезных ископаемых в действующих условиях работы отработки железорудных залежей. Повышение технико-экономических показателей работы карьера за счет рационального использования карьерных комбайнов фрезерного типа в комплексе технологических процессов современных горнодобывающих предприятий.

Практическая значимость. Использование горных комбайнов в действующей технологии открытой разработки полускальных и скальных пород вытесняет технологический процесс подготовки пород к выемке взрывом. В условиях достижения значительной глубины обработки пород, комбайновым способом повышается эффективность извлечения пород вскрыши и увеличивается активность рабочей зоны. Комбайны фрезерного типа хорошо себя рекомендуют в сложных горнотехнических и горно-геологических условиях работы глубоких железорудных карьерах.

Результаты. Установлено, что дальнейшее изучение работы комбайнов фрезерного типа в технологических комплексах карьера, даст возможность использовать эффективную безвзрывную разработку породного массива. Благодаря совершенствованию критериев эффективной оценки комбайнового способа обработки горных пород возникает возможность экономически целесообразно адаптировать данный способ в условиях действующей технологии открытой разработки. Обоснование оптимальных параметров работы горного оборудования и комбайнов послойного фрезерования является важной задачей, которая сложенную работу карьера с повышением технико-экономических показателей горнодобывающего предприятия при отсутствии буровзрывных работ.

Ключевые слова: массив, разупрочнения, фрезерный комбайн, технологические процессы, безвзрывная разработка.

Vusyk O.O., Pyzyk A.M. Non-blasting technology in mining the rock massif by using milling combines in the iron ore open pits

Purpose. To substantiate the possibility of using non-blasting technology of layer-by-layer milling of half-rocky and rocky massifs by milling combines in the iron ore open pits.

Research methods. Comprehensive analysis of the theoretical and practical efficiency of the milling combines for the implementation of non-blasting open pit mining technology. Analysis of the prospects for re-equipment of iron ore pits with modern high-performance stratified milling machines. Analysis of the characteristics of mining the rock massif by milling combines without using the drilling and blasting operations, taking into account the physical and mechanical properties of the rocks.

Scientific novelty. The expansion of the application of mining combines is determined by the established relationships between the technological parameters of the milling type combines and the parameters of the elements of the system for the development of mineral deposits in the current difficult conditions of iron ore deposits. Improving the technical and economic performance of the open pit due to the rational use of surface miners in a complex of technological processes of modern mining enterprises.

Practical significance. The use of milling combines in the current technology of open development of half-rocky and rocky massifs displaces the technological process of rocks excavation by explosion. In terms of achieving significant depth of mining rocks, combine method improves the efficiency of extraction of overburden and increases the activity of the working area. Milling combines are highly recommended in complex mining and geological conditions of deep iron ore quarries.

Results. Further study of the milling combines in technological complexes of career allows to use effective non-blasting development of a rock massif. Due to the improvement of the effective evaluation of the combine method of mining, it is economically feasible to adapt this method in the current open development technology. Substantiation of the optimal parameters of mining equipment and combines layer milling is an important task, which is the well-coordinated work of the pit with an increase in technical and economic indicators of the mining enterprise in the absence of drilling and blasting. The ability to implement a non-blasting technology layer-by-layer development of solid, half-rocky and rock massifs by combines in accordance with existing technologies.

Keywords: rock massif, surface miner, technical processes, non-blasting development.

УДК 622.647.2

Єфіменко Л.І., Тиханський М.П., Тиханська А.М. Визначення навантаження на став автоматизованого конвеєра від швидкості транспортування

Мета. Визначення навантаження на став автоматизованого конвеєра від швидкості транспортування шляхом врахування динаміки перехідних процесів і динамічних навантажень від дії крупних кусків вантажу, а також можливості зменшення навантажень на конструкції шляхом управління режимами транспортування, а саме швидкістю стрічки.

Методи дослідження. Для вирішення цього завдання використано: аналіз літературних і патентних джерел, наукове узагальнення раніше виконаних досліджень; методи розроблені в механіці, теорії пружності; методи обробки випадкових процесів і математичної статистики; а також методи теорії автоматичного управління.

Наукова новизна. Одержано розрахункові значення коефіцієнта динамічності для кусків різної маси при зміні швидкості транспортування. Розрахована величина імпульсного удару куском транспортованого матеріалу по жорсткій ролюкоопорі. Таким чином видно, що коефіцієнт динамічності також залежить від маси куска.

Практична значимість. Эффективность использования стрічкових конвеєрів пов'язана із зниженням металоємності конвеєрного ставу, що є основним елементом, що визначає загальну металоємність конвеєра. Металоємність знижується шляхом розрахунку навантаження на став автоматизованого конвеєра з врахуванням динаміки перехідних процесів і динамічних навантажень від дії крупних кусків вантажу, а також можливості зменшення навантажень на конструкції шляхом управління режимами транспортування, а саме швидкістю стрічки.

Використання автоматизованого регульованого приводу надало додаткові можливості для підвищення ефективності використання стрічкових конвеєрів шляхом зниження металоємності, оскільки гарантоване зниження динамічної дії приводу і крупних кусків вантажу на опорні конструкції дозволяє знизити їх металоємність.

Результати. Визначили розрахункові значення коефіцієнта динамічності для кусків різної маси при зміні швидкості транспортування. При регулюванні швидкості по вантажопотоку навантаження від потоку на елементи ставу зменшується, що дає змогу вибрати конструктивні елементи меншої металоємності

Ключові слова: стрічковий конвеєр, вантажопотік, навантаження опорних конструкцій, динамічне навантаження, коефіцієнт динамічності, автоматична система керування.

Ефименко Л.И., Тиханский М.П., Тиханская А.М. Определение нагрузки на став автоматизированного конвейера от скорости транспортировки

Цель. Целью этой работы является определение нагрузки на став автоматизированного конвейера от скорости транспортировки путем учета динамики переходных процессов и динамических нагрузок от действия крупных кусков груза, а также возможности уменьшения нагрузок на конструкции путем управления режимами транспортировки, а именно скоростью ленты.

Методы исследования. Для решения этой задачи использованы: анализ литературных и патентных источников, научное обобщение ранее выполненных исследований; методы разработанные в механике, теории упругости; методы обработки случайных процессов и математической статистики; а также методы теории автоматического управления.

Научная новизна. Получены расчетные значения коэффициента динамичности для кусков различной массы при изменении скорости транспортировки. Рассчитанная величина импульсного удара куском транспортируемого материала по жесткой роликоопоре. Таким образом видно, что коэффициент динамичности также зависит от массы куска

Практическая значимость. Эффективность использования ленточных конвейеров связана со снижением металлоемкости конвеєрного ставу, который является основным элементом, определяющим общую металлоемкость конвейера. Металлоемкость снижается путем расчета нагрузки на став автоматизированного конвейера с учетом динамики переходных процессов и динамических нагрузок от действия крупных кусков груза, а также возможности уменьшения нагрузок на конструкции путем управления режимами транспортировки, а именно скоростью ленты.

Использование автоматизированного регулируемого привода предоставило дополнительные возможности для повышения эффективности использования ленточных конвейеров путем снижения металлоемкости, поскольку гарантированное снижение динамического воздействия привода и крупных кусков груза на опорные конструкции позволяет снизить их металлоемкость.

Результаты. Определили расчетные значения коэффициента динамичности для кусков различной массы при изменении скорости транспортировки. При регулировании скорости по грузопотоку нагрузка от потока на элементы ставу уменьшается, что позволяет выбрать конструктивные элементы меньшей металлоемкости.

Ключевые слова: ленточный конвейер, грузопоток, нагрузка опорных конструкций, динамическая нагрузка, коэффициент динамичности, автоматическая система управления.

Yefimenko L.I., Tykhanskiy M.P., Tykhanska A.M. Load on an automated conveyor line on the speed of transportation

Purpose. To determine the load on an automated conveyor line on the transportation speed by taking into account the dynamics of transients and loads from the action of large pieces of cargo, as well as the possibility of reducing the loads on structures by controlling the modes of transportation, namely the tape speed.

Research methods. Analysis of literature and patent sources, a scientific synthesis of previously performed research; methods developed in mechanics, theory of elasticity; methods for processing random processes and mathematical statistics; methods of the theory of automatic control.

Scientific novelty. The calculated coefficients of dynamism for pieces of different masses when the transport speed changes. When adjusting the speed of the traffic flow from the load on the elements of the line decreases

The magnitude of the impulse impact by a piece of transported material on a rigid roller support was calculated. Thus, it can be seen that the dynamic coefficient also depends on the mass of the piece.

Practical significance. The efficiency of the use of belt conveyors is associated with a decrease in the metal intensity of the conveyor belt, which is the main element determining the overall metal intensity of the conveyor. Metal consumption is reduced by calculating the load on an automated conveyor line, taking into account the dynamics of transients and dynamic loads from the action of large pieces of cargo, as well as the possibility of reducing the loads on structures by controlling the modes of transportation, namely the belt speed.

The use of an automated adjustable drive provided additional opportunities to increase the efficiency of using belt conveyors by reducing the metal consumption, since a guaranteed reduction in the dynamic effect of the drive and large pieces of cargo on the supporting structures makes it possible to reduce their metal consumption.

Results. Determined the coefficients of dynamics for pieces of different masses when changing the transport speed. When regulating the speed of freight traffic, the load from the flow on the elements of the rod decreases, which allows you to choose structural elements of lower metal intensity.

Keywords: belt conveyor, cargo flow, load of supporting structures, dynamic load, dynamic factor, automatic control system.