

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Криворізький національний університет

ГІРНИЧИЙ ВІСНИК

Науково-технічний збірник

Заснований у 1966 році

Випуск 105

Кривий Ріг, 2019

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.тех.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., Охрид, Македонія; **Ільяс Ніколае**, доктор-інженер, проф., Петрошани, Румунія; **Калініченко В.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Ковальчук В.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Коробко В.М.**, д-р техн. наук, проф.; Массачусетс, США; **Комашенко В.І.**, д-р техн. наук, проф., Владікавказ, Росія; **Лапшин О.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Моркун Н.В.**, д-р техн. наук, проф.; **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 № 105 рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет Вченою радою ДВНЗ «Криворізький національний університет» (протокол № 9 від 23.04.2019 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. Дослідження трансформації напружено-деформованого стану масиву при відпрацюванні покладу камерними системами розробки з закладкою камер відходами гірничого виробництва	3
Моркун В. С., Моркун Н. В., Тронь В. В., Сердюк О. Ю. Формування сепараційної характеристики процесу згущення рудної сировини на основі методу модельного прогнозуючого керування	8
Brovko D.V., Khvorost V.V., Tyshchenko V. Yu. Reliability correction when determining safe operation of mine surface objects related to the basic production process	14
Колесніченко С.В., Селютін Ю.В., Мнацаканян К.Б. Вимоги до експертів з технічного обстеження будівель і споруд	18
Бойко С.М., Сінчук І.О., Сінолицький А.П., Несмаишній С.О., Дозоренко О.В. Особливості прогнозування рівнів енергоспоживання в умовах розподільчих електричних мереж залізорудних підприємств	24
Перебудов В.В., Григор'єв І.С., Григор'єв Ю.І. Дослідження взаємозв'язків параметрів техногенних родовищ насипного типу	29
Тищук В.Ю., Ковальова І.Б., Бобров М.Д., Кривенко Т.А. Захист повітря від шкідливих викидів амоніаку в коксохімічному виробництві	34
Плотников В.В., Бабаевская О.В. Анализ способов получения железосодержащих брикетов из природного и техногенного сырья	39
Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Вплив швидкості деформації на зміну напруження при поздовжньому прокатуванні	42
Попов С.О., Бабець Є.К., Василенко Є.В. Проблема автоматизації управління виробничим процесом на підземних залізорудних гірничодобувних підприємствах України	46
Кушнерьов І.П., Кривенко Ю.Ю. Інноваційна технологія відпрацювання потужних крутоспадних рудних покладів на глибоких горизонтах	52
Кіянівський М.В., Деміда Н.В. Стабілізація положення осі робочого органу роторної машини при різних ступенях навантаження опор ковзання	58
Шолох М. В. Методи прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах	62
Шаповалов В.А., Світгарєєв Л.Н., Ярош Т.П., Скідін І. Е. Використання виробничого потенціалу ливарних цехів у вирішенні завдань екології та охорони праці	68
Косенко А. В., Тарасютін В. М. Обґрунтування ефективності комплексного застосування самохідної гірничої техніки у процесі відпрацювання запасів природно-багатих залізних руд на великих глибинах	74
Вусик О.О., Піжжик А.М. Аналіз теоретичного та практичного застосування безвибухової розробки породного масива фрезерними комбайнами	80
Грамм О.О., Савицький О. І. Предиктивна оцінка навантаження електричної мережі із застосуванням комбінованих інтелектуальних систем для автоматичного керування енергопостачанням	84
Кальмус Д.О. Система керування тяговим електричним двигуном шахтного електровозу з релейним регулятором струму	88
Шолох М. В., Сергєєва М. П. Аналіз моделювання природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві і залізорудній масі шахт і кар'єрів	92
Антонов А.Ю., Мец Ю.С., Федоренко П.И. Исследование усталостного микросекундного взрывания	99
Булах О.В. Метод отримання високих якісних показників збагачення при переробці окислених руд	103
Савельєв С.Г., Кондратенко М.Н. Анализ характера движения частиц агломерата при определении его прочности во вращающемся барабане	107
Романов С. О., Савицький О.І. Моніторинг, діагностика та прогнозування вихідної потужності геліостанцій за умови роботи в інтелектуальних електромережах	113
Коверніченко Л.М., Хільченко О.П. Бетони на штучному пористому заповнювачі – актипорориту із техногенних відходів промислових підприємств Кривого Рогу	118
Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Технологія виготовлення надпровідного матеріалу обробкою металів тиском	123

<i>Сахно С.І., Янова Л.О., Пищикова О.В.</i> Суттєві помилки в ДБН В.2.6-161:2017 «Дерев'яні конструкції основні положення» та їх можливі наслідки	127
<i>Сінчук І.О.</i> Формалізація показників балансу споживання електричної енергії підземними залізородними підприємствами	132
<i>Кіяновський М. В., Іванова О. Р.</i> Розробка та конструктивна реалізація функції силовимірювання в конструкціях технологічного оснащення	138
<i>Письменний С.В.</i> Визначення стійкого прогону оголення при розробці складноструктурних рудних покладів камерною системою розробки	142
<i>Валовой О.І., Грицаєнко О.М., Попруга Д.В.</i> Технічне обстеження конструкцій залізобетонного балочно-розрізного пішохідного мосту	149
<i>Козакевич І. А., Кондратенко А. А.</i> Система енергоефективного керування динамічним компенсатором викривлень напруги	154
<i>Тиханський М.П., Єфіменко Л.І., Тиханська А.М.</i> Прогнозування працездатності конвеєрної установки	160
АНОТАЦІЇ ..	
<i>А н о т а ц і ї</i>	164
Смірнов Павло Петрович	203

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАСИВУ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ ПОКЛАДУ КАМЕРНИМИ СИСТЕМАМИ РОЗРОБКИ З ЗАКЛАДКОЮ КАМЕР ВІДХОДАМИ ГІРНИЧОГО ВИРОБНИЦТВА

Мета. Метою даної роботи є аналіз дослідження еволюції напружено-деформованого стану масиву при відпрацюванні покладу камерними системами розробки з закладкою виробленого простору відходами гірничого виробництва.

Методи дослідження. Детальний техніко-економічний аналіз і дослідження факторів і умов, що впливають на ефективність діагностування і обліку силових взаємодій і трансформацій природного і штучного полів напружень при формуванні очисних камер і їх наступній закладці відходами гірничого виробництва виконувались математичними методами із застосуванням методу кінцевих елементів та програмного комплексу Ansys 16.2.

Стан і параметри напружено-деформованого стану масиву на ділянці рудного покладу досліджувався з урахуванням етапного характеру навантаження гірських порід. Кількість розрахункових етапів в дослідженні приймалася аналогічною кількості технологічних циклів очисних робіт при відпрацюванні шахтного поля.

Наукова новизна. Дослідженнями встановлені нові закономірності змін напружено-деформованого стану масиву при початковому, проміжному та кінцевому етапах відпрацювання камер на ділянці, що діагностується.

Встановлена величина інверсії вертикальних деформацій гірського масиву при поетапному відпрацюванні та наступному заповненні камери подрібненими пустими породами, що дозволяє встановити закономірності впливу об'ємного стиснення на стійкість комбінованих штучних масивів.

Практична значимість. Виконаними дослідженнями розроблена та запропонована ефективна технологія відпрацювання та закладки камер відходами виробництва, що дозволяє утилізувати відходи гірничо-металургійних підприємств у відпрацьованому підземному просторі камер другої черги.

Результати. На підставі виконаних досліджень та встановлених залежностей запропоновані оптимальні варіанти технології закладки камер другої черги пустими породами. Запропонована технологія забезпечує необхідну несучу здатність штучних циліндрів твердіючої закладки камер першої черги, оскільки створює умови об'ємного стиснення для всього комбінованого закладного масиву та дозволяє утилізувати відходи гірничо-металургійних підприємств у відпрацьованому підземному просторі камер другої черги, вирішуючи одну з головних екологічних проблем Криворізького залізрудного басейну.

Ключові слова: руда, камерні системи, закладка, напруження, деформації, вплив на довкілля.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-3-8

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Підземна розробка залізних руд в Криворізькому басейні здійснюється камерними системами розробки та системами з обваленням руди і вміщуючих порід. Відпрацювання залізних руд підземним способом призводить до порушень денної поверхні. В розвинутих гірничодобувних країнах підземна розробка родовищ корисних копалин в міських межах здійснюється виключно системами з закладкою виробленого простору. Для нашої країни відпрацювання руд середньої цінності такими системами розробки є надто витратним. Тому зниження вартості закладних робіт та дослідження і розробка відповідних технологій є актуальною задачею, яка має важливе наукове та практичне значення.

Аналіз досліджень і публікацій. На сьогодні дослідження та розробка теоретичних основ впливу штучного поля напружень на розвиток геомеханічних процесів при виїмці залізних руд в Криворізькому басейні камерними системами розробки є досить складним і невідомим процесом. Це пов'язане насамперед з тим, що з часом збільшується глибина розробки, зростає гірський тиск, погіршуються гірничо-геологічні умови відпрацювання родовищ. Значні площі земної поверхні, підпрацьовані гірничими роботами, є схильними до обвалення. Тому сучасні дослідження направлені на вирішення цієї проблеми [1-10]. Діагностування і облік силових взаємодій природного і штучного полів напружень і їх вплив на досліджуваній ділянці родовища доцільно виконувати з урахуванням етапного характеру навантаження гірських порід, застосовуючи сучасні математичні методи та програми комп'ютерного моделювання [1-5, 11-15].

Існує значна кількість прикладних програм, які дозволяють з певними наближеннями визначати параметри напружено-деформованого стану гірського масиву. До таких програм можна

віднести «SolidWorks», «Ліра», «Ansys», «GTSNX», «SCAD» і ряд інших. Ці програмні комплекси дозволяють досліджувати гірський масив як для безперервно-пружного, так і пружно-пластичного середовищ. У даній роботі розрахунок напружень і деформацій виконувався за допомогою програм Ansys 16.2 [1-7].

Постановка завдання. В роботі досліджуються фактори та умови, які впливають на ефективність діагностування і обліку силових взаємодій і еволюційних трансформацій штучного поля напружень при відпрацюванні покладу камерними системами розробки з закладкою камер відходами гірничого виробництва. Тому метою даної роботи є аналіз та дослідження змін напружено-деформованого стану масиву при відпрацюванні покладу камерними системами розробки з закладкою виробленого простору відходами гірничого виробництва.

Викладення матеріалу та результати. Математичні методи досліджень, зокрема чисельне моделювання дозволяють визначити закономірності трансформації напружено-деформованого стану масиву відпрацюванні та закладці камер на ділянці, що діагностується.

Для отримання необхідних чисельних значень, дослідження напружено-деформованого стану масиву доцільно розбити на етапи, прив'язані до технологічних циклів відпрацювання покладів. Дана методика є похідною розрахунковому метода «послідовних циклів». Відповідно до неї при відпрацюванні ділянки шахтного поля здійснюються наступні технологічні етапи:

- відпрацювання камер першої черги;
- заповнення відпрацьованих камер твердіючою закладкою;
- відпрацювання камер другої черги;
- закладка відпрацьованих камер другої черги відходами гірничого виробництва.

У контексті поставлених задач технологічні етапи слід розглядати як процес перерозподілу напружень між гірським масивом, закладкою і обваленими пустими породами, при цьому навантаження в кожному наступному етапному циклі визначається з урахуванням попереднього технологічного циклу.

Рис. 1 ілюструє напружено-деформований стан масиву при початковому етапі відпрацювання камер другої черги на ділянці, що діагностується. На цей час, згідно існуючим технологічним схемам, закладний масив камер першої черги набрав необхідну нормативну міцність, яка повинна забезпечувати стійкість вертикальних оголень штучних ціликів камер першої черги на весь термін відпрацювання сусідніх очисних камер другої черги.

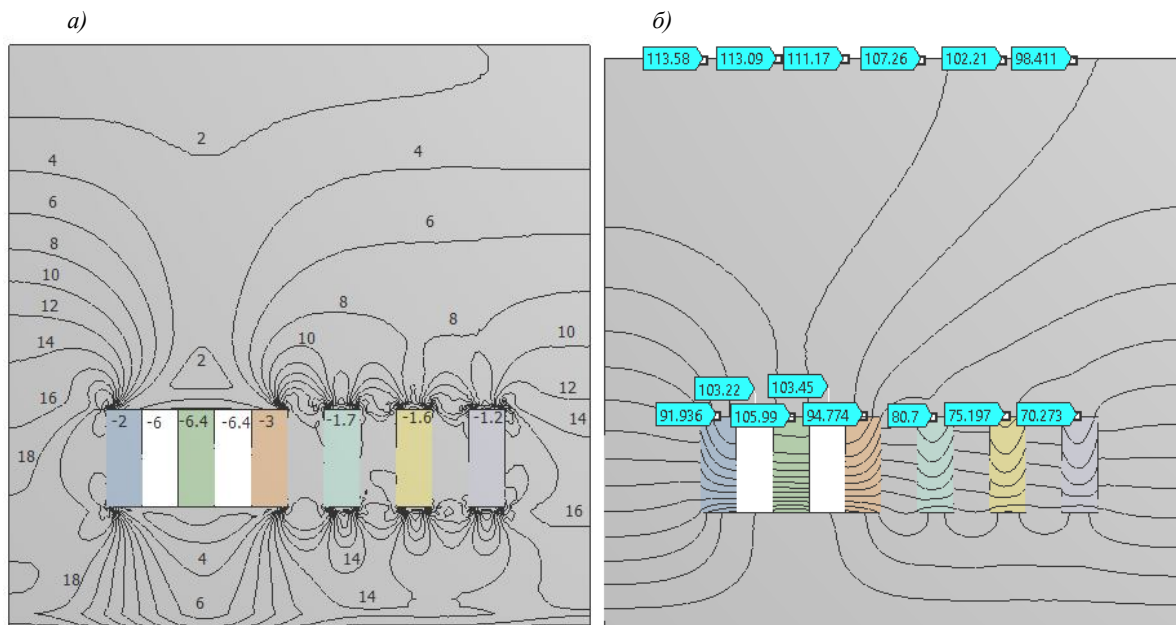


Рис. 1. Результати розрахунку головних напружень σ_1 (а) і деформацій ϵ (б) при початковому етапі відпрацювання камер другої черги

Представлені ізолінії головних напружень та результати розрахунку деформацій денної поверхні і гірського масиву в контрольних точках шахтного поля дозволяють встановити принципові особливості трансформації напружено-деформованого стану гірського масиву.

Основною закономірністю є істотне збільшення деформацій в контрольних точках гірського масиву на денній поверхні над очисним простором відпрацьованих блоків і на контакті з стелінами відпрацьованих камер.

Варіація відповідних величин деформацій в контрольних точках гірського масиву досягає 34–36 % в порівнянні з початковим етапом відпрацювання шахтного поля на ділянці, що діагностується.

На рис. 2 представлені зміни напружено-деформованого стану масиву при початковому етапі заповнення камер другої черги подрібненими пустими породами в якості недорогої інертної закладки очисного простору камер другої черги відпрацювання. Ця технологія забезпечує також утилізацію пустих порід від проведення гірничих виробок.

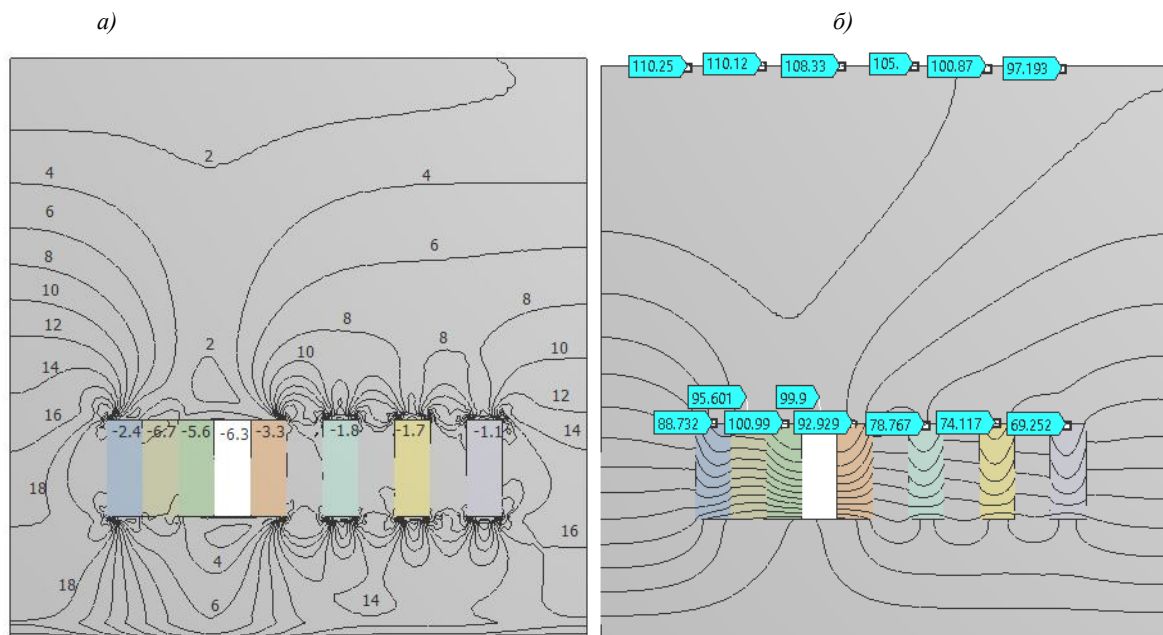


Рис. 2. Результати розрахунку головних напружень σ_1 (а) і деформацій ϵ (б) при початковому етапі заповнення камер другої черги подрібненими пустими породами в якості закладки

Заповнення камер другої черги подрібненими пустими породами дозволяє збільшити несучу здатність штучних ціликів твердіючої закладки, оскільки створює умови об'ємного стиснення.

Крім того, утилізація пустих порід від проходки виробок в підземних виробках обумовлює позитивний екологічний ефект, захищаючи повітряне середовище басейну від додаткового джерела пилу. Крім цього, звільняються значні площі орних земель, які потенційно могли бути зайняті під відвалами.

Аналізуючи величину вертикальних деформацій денної поверхні після заповнення камер другої черги подрібненими пустими породами можна звернути увагу на зниження величини вертикальних зсувів земної поверхні і стеліни відпрацьованої камери в контрольних точках над очисним простором відпрацьованих блоків. Різниця діагностованих величин коливається в межах 6–9 %.

Встановлена величина вертикальних деформацій гірського масиву при заповненні першої камери другої черги подрібненими пустими породами дозволяє встановити ключові закономірності впливу об'ємного стиснення на стійкість комбінованих штучних масивів.

На рис. 3 представлена картина трансформації напружено-деформованого стану масиву на кінцевому етапі заповнення камер другої черги подрібненими пустими породами в якості штучної закладки.

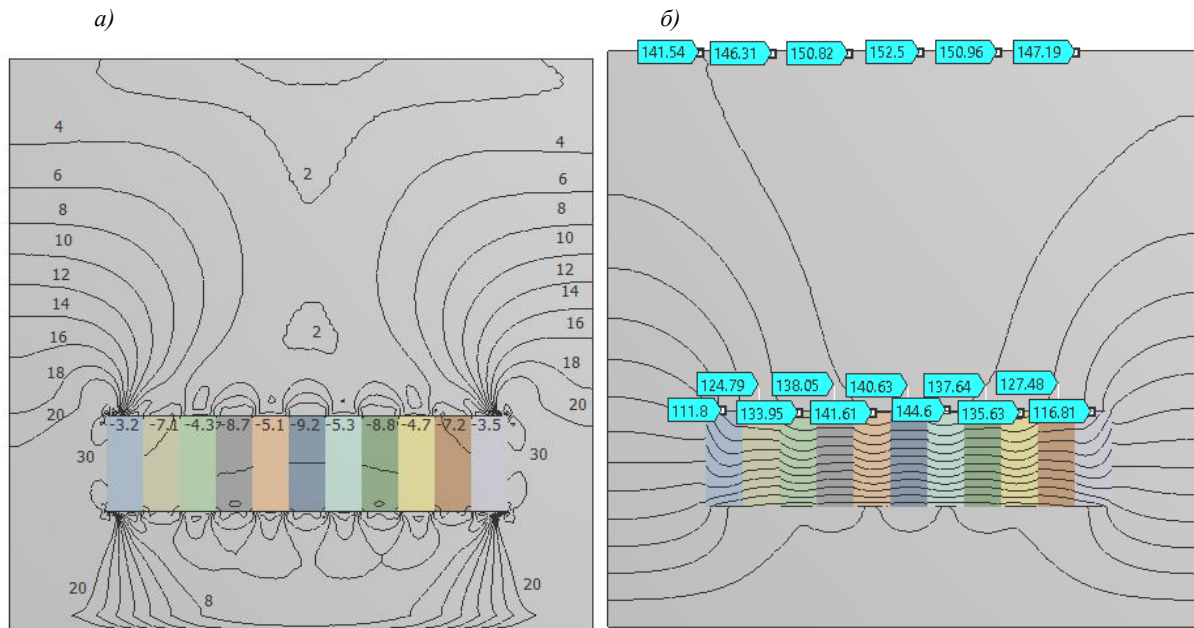


Рис. 3. Результати розрахунку головних напружень σ_1 (а) і деформацій ε (б) після завершального етапу заповнення камер другої черги подрібненими пустими породами

Повне заповнення камер другої черги подрібненими пустими породами дозволяє збільшити несучу здатність штучних ціликів твердіючої закладки камер першої черги, оскільки створює умови об'ємного стиснення для всього комбінованого закладного масиву.

Графіки встановлених залежностей представлені на рис. 4.

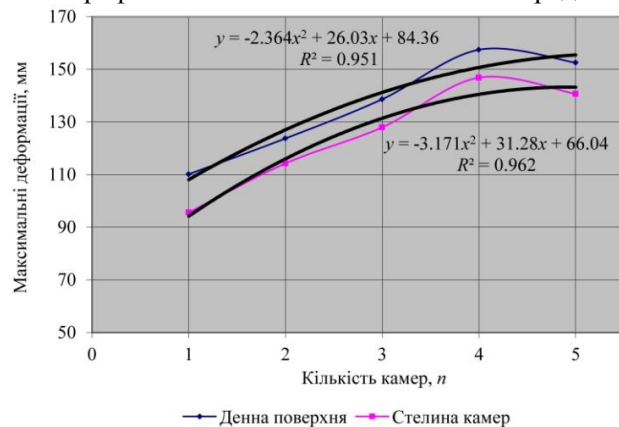


Рис. 4. Графіки залежності максимальних вертикальних деформацій в контрольних точках гірського масиву на денній поверхні і на контакті з стеліною відпрацьованих камер другої черги, заповнених подрібненими пустими породами

Аналіз розрахункових значень залежності величини максимальних вертикальних деформацій в контрольних точках гірського масиву на денній поверхні над очисним простором відпрацьованої ділянки шахтного поля і на межі з стеліною відпрацьованих камер другої черги, заповнених подрібненими пустими породами, дозволив визначити принципіві закономірності.

Вертикальні деформації структурно неоднорідного масиву залежать від кількості відпрацьованих і закладених камер другої черги. Величина вертикальних деформацій денної поверхні апроксимується поліноміальною кривою, виду

$$\varepsilon = -2,364n^2 + 26,036n + 84,36, \quad (1)$$

де ε – величина максимальних вертикальних зсувів денної поверхні, мм; n – кількість відпрацьованих і закладених камер другої черги.

Величина вертикальних деформацій в контрольних точках гірського масиву над очисним простором відпрацьованих і закладених камер другої черги апроксимується поліноміальною кривою, виду

$$\varepsilon = -3,171n^2 + 31,289n + 66,04. \quad (2)$$

Ці залежності дозволяють визначити величину максимальних вертикальних зсувів денної поверхні і контурів стелін відпрацьованих камер другої черги при їх заповненні подрібненими пустими породами.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Встановлені кореляційні залежності дозволяють зробити висновок про вагомий вплив подрібнених пустих порід на стійкість геотехні-

чної системи «гірський масив–штучний масив комбінованої закладки» за рахунок створення умов об'ємного стиснення для всього структурно неоднорідного закладного масиву.

Так, відносно збільшення величини максимальних вертикальних деформацій денної поверхні при інтенсифікації відпрацювання ділянки шахтного поля з однієї до шести камер першої черги становить не більше 10–11 %. Такі величини є допустимими і не роблять істотного впливу на напружено-деформований стан структурно неоднорідного масиву.

З урахуванням стабілізації вертикальних зсувів денної поверхні внаслідок повного заповнення відпрацьованого очисного простору комбінованою закладкою величини вертикальних деформацій денної поверхні, що діагностуються, не становлять загрози.

Таким чином, закладка камер другої черги пустими породами забезпечує задовільну несучу здатність штучних ціликів твердіючої закладки камер першої черги, оскільки створює умови об'ємного стиснення для всього комбінованого закладного масиву та дозволяє утилізувати відходи гірничо-металургійних підприємств у відпрацьованому підземному просторі камер другої черги, вирішуючи одну з головних екологічних проблем Криворізького залізорудного басейну.

Список літератури

1. **М.І. Ступнік.** Інформаційні технології – складова процесів моніторингу та керування напружено-деформованим станом масиву / **М.І. Ступнік, В.О. Калініченко, І.О. Музика, О.В. Калініченко, М.Б. Федько, С.В. Письменний** // Розробка родовищ 2015 : щорічний наук.-техн. зб. – Дніпропетровськ : Літограф, 2015. – С. 175–181.
2. **N. Stupnik.** The research of strain-stress state of magnetite quartzite deposit massif in the condition of mine “Gigant-Gliboka” of central iron ore enrichment works (CGOK) / **N. Stupnik, V. Kalinichenko, E. Kalinichenko, I. Muzika, M. Fed'ko, S. Pis'menniy** // Metallurgical and mining industry. – 2015. –No.7. – P. 377 – 382.
3. **N. Stupnik.** The research of strain-stress state of magnetite quartzite deposit massif in the condition of mine “Gigant-Gliboka” of central iron ore enrichment works (CGOK) / **N. Stupnik, V. Kalinichenko, E. Kalinichenko, I. Muzika, M. Fed'ko, S. Pis'menniy** // Metallurgical and mining industry. – 2015. –No.7. – P. 377–382.
4. **Калініченко О.В.** Удосконалення концепції управління напружено-деформованим станом гірського масиву при підземних гірничих роботах / **О.В. Калініченко** // **Сборник научных трудов ГП «Научно-исследовательский горнорудный институт».** – Кривой Рог. – 2015. – С. 104–111.
5. **М.І. Ступнік.** Дослідження напружено-деформованого стану гірського масиву покладу магнетитових кварцитів в умовах шахти «Гігант-Глибока» ПАТ «ЦГЗК» / **М.І. Ступнік, В.О. Калініченко, О.В. Калініченко** // **Металлургическая и горнорудная промышленность.** – 2015. – №5. – С. 85–88.
6. **N. Stupnik.** Parameters of shear zone and methods of their conditions control at underground mining of steep-dipping iron ore deposits in Kryvyi Rig basin / **N. Stupnik, V. Kalinichenko** // **Geomechanical Processes During Underground Mining.** School of Underground Mining. – Dnipropetrovsk. – 2012. – P. 15–19.
7. **М.І. Ступнік.** Економічна оцінка ризиків можливих геомеханічних порушень денної поверхні в полях шахт Кривбасу / **М.І. Ступнік, В.О. Калініченко, О.В. Калініченко** // **Науковий вісник Національного гірничого університету.** – Дніпропетровськ. – 2012. – №6(132). – С. 126–130.
8. **Ступнік Н.И.** Проблемы мониторинга дневной поверхности в полях закрытых и действующих шахт Криворожского железорудного бассейна / **Н.И. Ступник, В.А. Калиниченко** // **Збірник наукових праць Науково-дослідного гірничорудного інституту Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет».** – Кривий Ріг. – 2013. – №54. – С. 17-22.
9. **Куліковська О.Є.** Стіввідношення між швидкостями сучасних рухів денної поверхні й особливостями геологічної будови Криворізького регіону / **В.В. Перегудов, О.Є. Куліковська, М.П. Сергеева** // **Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва.** – Львів. – 2004. – С. 158–162.
10. **Куліковська О.Є.** Концептуальні засади маркшейдерського моніторингу безпечного функціонування гірничовидобувних регіонів : дис. ... доктора техн. наук : 05.15.01 / **О.Є. Куліковська** – Кривий Ріг, 2012. – 346 с.
11. **Панжин А.А.** Мониторинг геодинамических процессов на горных предприятиях и урбанизированных территориях / **А.А. Панжин, Н.А. Панжина** // **Горный информ.-аналит. бюл.** – 2007. – №3. – С. 171–183.
12. **Сашурин А.Д.** Исследование геодинамических процессов с применением GPS-технологий / **А.Д. Сашурин, А.А. Панжин, Ю.П. Коновалова** // **Горный информ.-аналит. бюл.** – 2003. – №7. – С. 34–38.
13. **Розробка інформатизованих систем моніторингу і керування процесами взаємодії полів напружено-деформованого стану масиву при формуванні відкритих гірничих виробок і штучних підземних споруд** : Звіт з НДР, 0114U003776с. – Кривий Ріг : ДВНЗ «КНУ»–«НГУ», 2015. – 117 с.
14. **Денисов А.И.** Современные движения земной поверхности района Криворожья и их выраженность в рельефе / **А.И. Денисов** // **Материалы научно-технической конференции КГРИ.** – М.: ВИНТИ, 1981. – №268-81. – С. 59–69.
15. **Цариковский В.В.** Контроль процессов разрушения руд Кривбасса геофизическими методами для повышения эффективности их отработки / **В.В. Цариковский, А.Ф. Булат, В.Л. Приходченко** // **Проблемы горнодобывающей промышленности металлургического комплекса Украины.** – Кривой Рог : НИГРИ, 1998. – С. 21–24.

Рукопис подано до редакції 02.04.2019

В. С. МОРКУН, Н. В. МОРКУН, доктори техн. наук, професори,
В. В. ТРОНЬ, канд. техн. наук, доц., О. Ю. СЕРДЮК, асистент
Криворізький національний університет

ФОРМУВАННЯ СЕПАРАЦІЙНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ ЗГУЩЕННЯ РУДНОЇ СИРОВИНИ НА ОСНОВІ МЕТОДУ МОДЕЛЬНОГО ПРОГНОЗУЮЧОГО КЕРУВАННЯ

Метою дослідження є формування оптимальної сепараційної характеристики технологічних збагачувальних процесів на основі оперативної інформації про динаміку їх параметрів на прикладі процесу згушення рудної сировини.

Методи дослідження. У роботі використано такі методи: аналіз вітчизняного і закордонного досвіду; методи математичної статистики і теорії імовірності для оброблення результатів експериментів; методи аналітичного конструювання і комп'ютерного моделювання; методи модельного прогнозуючого керування при розробці алгоритмів керування процесом згушення; методи чисельного моделювання для синтезу і аналізу математичної моделі.

Наукова новизна полягає у визначенні оптимальних з точки зору якості керування значень горизонту керування та горизонту прогнозування одноканальної системи модельного прогнозуючого керування процесом згушення рудної сировини.

Практичне значення полягає у розробленні методики і програмного забезпечення для визначення оптимальних з точки зору якості керування значень горизонту керування та горизонту прогнозування одноканальної системи модельного прогнозуючого керування процесом згушення рудної сировини. Зазначене дозволяє оптимізувати сепараційну характеристику процесу згушення рудної сировини.

Результати. Для формування сепараційної характеристики процесу згушення рудної сировини на основі методу модельного прогнозуючого керування для одноканальної системи керування процесом згушення задовільні результати керування забезпечуються встановленням горизонту керування таким, що дорівнює 1 інтервал. За даного значення квадратична помилка керування не перевищує 0,1452–0,1474. Подальше збільшення горизонту прогнозування є недоцільним, оскільки не дозволяє суттєво зменшити квадратичну помилку керування. Водночас, достатнім значенням горизонту прогнозування є величина 3–5 інтервалів. Такі значення обумовлюються тим, що зростання обчислювальної складності процесу прогнозування на 10–20 інтервалів призводить до незначного зменшення квадратичної помилки керування.

Ключові слова: модельне прогнозує керування, оптимізація, згушення рудної сировини, сепараційна характеристика.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-8-14

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Оптимізація технологічної лінії збагачення рудної сировини потребує визначення результуючої сепараційної характеристики з робочою точкою у оптимальній границі розділення. Водночас, у технологічних потоках лінії збагачення на різних стадіях можуть перероблюватись суттєво різні за своїми фізико-механічними та хіміко-мінералогічними характеристиками різновиди рудної сировини [1–3]. Отже, потребує дослідження питання формування сепараційної характеристики технологічних збагачувальних процесів, зокрема, згушення рудної сировини, на основі оперативної інформації про динаміку їх параметрів.

Аналіз досліджень та публікацій. Технологічні процеси рудозбагачувальних фабрик передбачають багатостадійне дроблення і подрібнення руди для його підготовки до наступної сепарації [4, 5]. Метою цих операцій є розкриття рудних зростків і виокремлення часток різних мінералів шляхом скорочення крупності мінеральних зерен до 0,1 мм і менше. У деяких випадках розмах розміру вкраплень корисного компонента перекидає декілька класів крупності, які використовують для оцінювання гранулометричного складу продуктів збагачення на гірничозбагачувальних комбінатах: «+3», «-3+1», «-1+0,5», «-0,5+0,25», «-0,25+0,125», «-0,125+0,071», «-0,071+0,056», «-0,056+0,044», «-0,044+0».

Відповідно до результатів досліджень [4, 6, 7] для кількісного оцінювання мінеральних продуктів окрім показника розподілу мінеральних часток $\gamma(\xi)$ по фракціях з різними фізичними властивостями ξ , доцільно використовувати також показник розподілу корисних компонентів $\beta(\xi)$. Показники $\gamma(\xi)$ і $\beta(\xi)$ дозволяють виконати кількісне оцінювання рудного матеріалу. Для кількісного оцінювання ефективності роботи технологічних апаратів запропонова-

но використовувати сепараційні характеристики $\varepsilon(\xi)$, які визначають величину вилучення ε мінеральних фракцій у продукти збагачення. Виділення корисного компонента в концентрат з вхідного рудного матеріалу здійснюється на основі відмінності фізичних властивостей ξ даного компонента і супутніх мінералів. У робочих зонах збагачувальних агрегатів під дією фізичних сил відбувається розділення часток. Частки з одними фізичними властивостями ($\xi > \xi_p$) рухаються в одну частину робочої зони (концентрат), а частки з іншими властивостями ($\xi < \xi_p$) – в іншу (хвосты).

Сепараційна характеристика є неперервною функцією $\varepsilon(\xi)$, яка визначає залежність вилучення елементарних фракцій $[\xi, \xi + \Delta\xi]$ у концентрат від фізичної властивості ξ [4, 7]. Ідеальна сепараційна характеристика має сходинковий вигляд зі стрибком у точці ξ_p . Дана точка відповідає елементарній фракції, яка наполовину вилучається у концентрат, наполовину – у хвосты. Реальні технологічно агрегати мають неідеальну сепараційну характеристику з деяким нахилом $tg\alpha = d\kappa(\xi) / d\xi |_{\xi=\xi_p}$ у робочій точці, що відповідає границі розділення $\xi = \xi_p$. З фізичною властивістю ξ кожної мінеральної частки корелюється вміст у ній цінного компонента β : зі зростанням ξ зростає β (або навпаки).

Постановка завдання. Метою роботи розроблення методу автоматизованого керування процесом згущення рудної сировини для оптимізації сепараційної характеристики даного технологічного процесу в умовах збагачення декількох мінералого-технологічних різновидів руди на основі методу модельного прогнозуючого керування.

Викладення матеріалу та результати. Приклад співставлення вмісту корисного компонента у певному класі крупності до виходу даного класу, розподіленого по технологічній лінії збагачення, представлено на рис. 1. Результати випробування технологічної лінії збагачення отримані при виконанні робіт під керівництвом проф. Т. А. Олійник [8, 9].

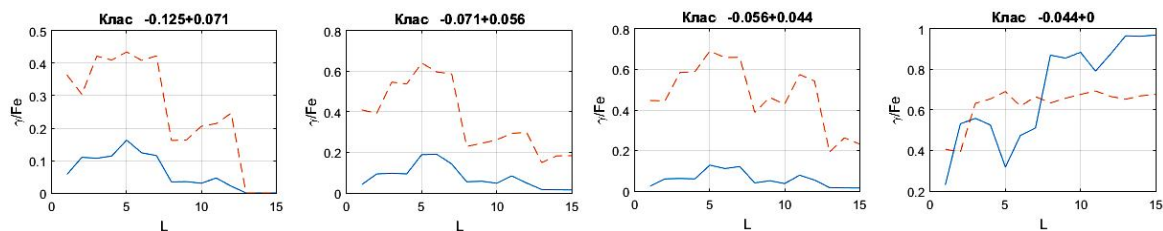


Рис. 1. Вміст корисного компонента у класі крупності та вихід даного класу, розподілені по технологічній лінії

Вилучення кінцевих фракцій одержують розділенням загального діапазону $[\xi_{\min}, \xi_{\max}]$ змінення фізичної властивості ξ суміші часток руди на певну кількість фракцій $\Delta\xi_1, \Delta\xi_2, \dots, \Delta\xi_n$ [4]. Вилучення твердої фракції $[\xi_i, \xi_i + \Delta\xi_i]$ у концентрат дорівнює співвідношенню продуктивності твердої даної фракції у концентраті $P_{i\kappa}$ та вхідному матеріалі $P_{i\text{ex}}$

$$\varepsilon_{i\kappa} = \frac{P_{i\kappa}}{P_{i\text{ex}}} = \frac{Q_{\kappa} \overline{\gamma}_{i\kappa}}{Q_{\text{ex}} \overline{\gamma}_{i\text{ex}}} = \frac{Q_{\kappa} \gamma_{i\kappa}(\xi_i) \Delta\xi_i}{Q_{\text{ex}} \gamma_{i\text{ex}}(\xi_i) \Delta\xi_i}, \quad (1)$$

де $Q_{\kappa}, Q_{\text{ex}}$ – продуктивності твердої відповідно за концентратом та вхідним матеріалом, т/год; $\overline{\gamma}_{i\kappa}, \overline{\gamma}_{i\text{ex}}$ – вихід фракції відповідно у концентраті та вхідному матеріалі; $\gamma_{i\kappa}(\xi), \gamma_{i\text{ex}}(\xi)$ – розподілення твердої по фракціях відповідно у концентраті та вхідному матеріалі. Застосування даної формули до кожної фракції дозволяє одержати ряд вилучень фракцій $\varepsilon_{1\kappa}, \varepsilon_{2\kappa}, \dots, \varepsilon_{n\kappa}$. При виконанні умови $\Delta\xi_i \rightarrow 0, n \rightarrow \infty$ згаданий ряд перетворюється на неперервну функцію – сепараційну характеристику [4].

Значення точок сепараційної характеристики першої стадії класифікації, розраховані за формулою (1) та даними експериментальних досліджень [8, 9], представлено у табл. 2.

Графічне представлення сепараційних характеристик класифікувальних агрегатів технологічної лінії рудозбагачувальної фабрики подано на рис. 2.

Результати розрахунку сепараційної характеристики першої стадії класифікації

Клас крупності, мм	Вихід фракції на вході, %	Вихід фракції на виході, %	Розмір фракції $\Delta\xi$,	Сепараційна характеристика
-1+0,5	23,40	1,50	0,500	0,0000
-0,5+0,25	19,10	8,00	0,250	0,0000
-0,25+0,125	8,90	10,90	0,125	0,0224
-0,125+0,071	5,70	11,00	0,054	0,1461
-0,071+0,056	4,10	9,40	0,015	0,4272
-0,056+0,044	2,40	6,00	0,012	0,6731
-0,044+0	23,00	53,20	0,044	0,7997
Всього	100,00	100,00		

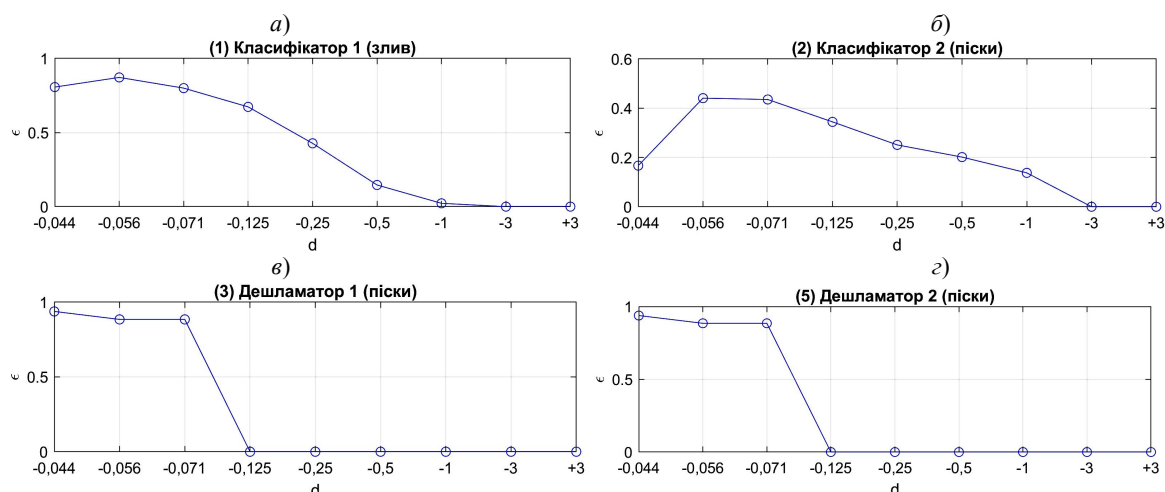


Рис. 2. Сепараційні характеристики класифікувальних агрегатів технологічної лінії рудозбагачувальної фабрики

Числові значення сепараційних характеристик подано у табл. 3.

Таблиця 3

Результати розрахунку сепараційних характеристик класифікувальних агрегатів

Клас крупності, мм	Класифікатор 1 (злив)	Класифікатор 2 (піски)	Дешлактор 1 (піски)	Класифікатор 3 (злив)	Дешлактор 2 (піски)
+3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
-3+1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
-1+0,5	0,0224	0,1376	0,0000	0,0000	0,0000
-0,5+0,25	0,1461	0,2016	0,0000	0,0000	0,0000
-0,25+0,125	0,4272	0,2510	0,0000	0,0000	0,0000
-0,125+0,071	0,6731	0,3445	0,9171	0,0000	0,0000
-0,071+0,056	0,7997	0,4354	0,9395	0,1154	0,8846
-0,056+0,044	0,8720	0,4408	0,9892	0,1306	0,8846
-0,044+0	0,8068	0,1669	0,8756	0,3594	0,9379

Для використання сепараційних характеристик технологічних агрегатів у системах керування процесами збагачення необхідно здійснити їх апроксимацію. Основні результати апроксимації представлено у табл. 4.

Таблиця 4

Результати апроксимації сепараційних характеристик класифікувальних агрегатів

Функція	Кількість коефіцієнтів	SSE	R-square	Adjusted R-square	RMSE
Гаусова	3	0.01177	0.9897	0.9863	0.04429
Лінійна	3	0.09543	0.9169	0.8892	0.1261
Поліноміальна	2	0.1013	0.9118	0.8992	0.1203
	3	0.1012	0.9118	0.8824	0.1299
Степенева	2	0.4844	0.578	0.5177	0.2631
	3	0.09881	0.9139	0.8852	0.1283

Оцінювання параметричних моделей (табл. 4) здійснювалось за такими показниками. Сумарний квадрат залишків (Sum of Squares due to Error, SSE) розраховано за формулою [10]

$$SSE = \sum_{i=1}^n w_i (y_i - \hat{y}_i)^2 . \quad (2)$$

Чим ближчим до 0 є одержане значення тим меншою є величина компонента випадкової помилки, що вказує на високу точність моделі.

Множинний коефіцієнт детермінації (R-Square) показує, яка частка дисперсії результату спричинена впливом незалежних змінних. Даний показник визначається як відношення суми квадратів регресії (Sum of squares of the regression, SSR) і загальної суми квадратів (Total Sum of Squares, SST). Показники SSR та SST визначається таким чином [10]

$$SSR = \sum_{i=1}^n w_i (\hat{y}_i - \bar{y})^2 , \quad SST = \sum_{i=1}^n w_i (y_i - \bar{y})^2 . \quad (3)$$

Водночас, названі показники пов'язані співвідношенням: $SST=SSR+SSE$.

Множинний коефіцієнт детермінації (R-Square) визначають таким чином [11]

$$R - square = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} . \quad (4)$$

Одержане значення знаходиться у діапазоні від 0 до 1. Чим більше одержане значення наближається до 1, тим більша частка дисперсії враховується моделлю. Скоригований коефіцієнт детермінації (Adjusted R-Square) застосовують для забезпечення коректності порівняння моделей з різним числом факторів так, щоб число регресорів (факторів) не вплинуло на результати [11].

Радіальний згущувач є невисоким циліндричним резервуаром (3,6–4,2 м) з конічним дном і кільцевим жолобом для зливу освітленої суспензії [12]. У резервуарі встановлено ферму, на якій закріплено гребки для неперервного перемішування матеріалу, що осаджується, до розвантажувального отвору на дні конічної частини резервуару. Ферма здійснює 0,01–0,3 оберти на хвилину. Суспензія живлення неперервно надходить до середини резервуару згущувача через заглиблений живильник. Освітлена рідина переливається через поріг у кільцевий жолоб і видаляється по спеціальному трубопроводу у хвості або використовується як оборотна вода. Згущена суспензія, що утворюється із осаду, видаляється через розвантажувальні отвори і відкачується насосом.

Основним вихідним сигналом – керованою величиною для автоматичної стабілізації роботи згущувача – є густина суспензії розвантаження згущувача (або вихідна концентрація), а для оптимізації агрегату основним сигналом є густина суспензії зливу (або вихідна концентрація) [12, 13]. Основними збуреннями процесу є змінення концентрації і об'ємної витрати суспензії живлення. Як керуючі впливи зазвичай використовують змінення прохідного отвору розвантажувального клапану на виході згущеної суспензії із згущувача і витрата коагулянту.

Керування процесом згущення сформовано з використанням методу модельного прогнозуючого керування (Model Predictive Control, MPC). MPC регулятор використовує математичну модель у такому вигляді [14, 15]

$$\begin{aligned} x_p(k+1) &= A_p x_p(k) + B S_i u_p(k) \\ y_p(k) &= S_o^{-1} C x_p(k) + S_o^{-1} D S_i u_p(k) \end{aligned} \quad (5)$$

де S_i , S_o – діагональна матриця відповідно вхідних та вихідних масштабних коефіцієнтів у технічних одиницях, x_p – вектор стану, u_p – вектор безрозмірних значень впливів керування, y_p – вектор безрозмірних значень виходу об'єкту керування. У процесі синтезу модельного прогнозуючого керування регулятор на кожному інтервалі керування розв'язує задачу оптимізації. Результатом розв'язання є значення керованих змінних, які будуть застосовані до об'єкта на наступному інтервалі керування.

Схема системи формування модельного прогнозуючого керування процесом згущення за каналом «площа отвору розвантажувального клапану – вихідна концентрація» представлена на рис. 3.

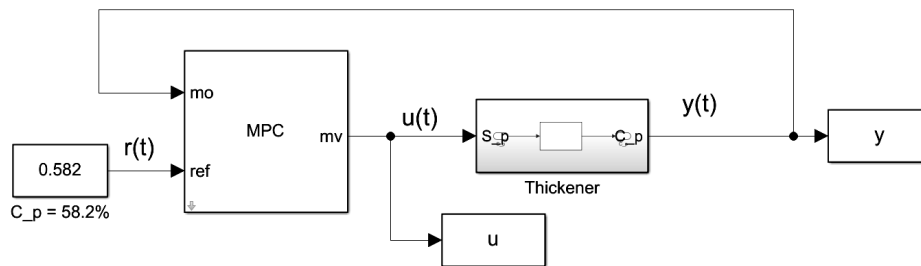


Рис. 3. Схема системи формування модельного прогнозуючого керування процесом згущення

На основі даної схеми модельного прогнозуючого керування (рис. 3) було досліджено вплив величин горизонту керування і горизонту прогнозування на якість керування процесом згущення рудної сировини. Тривалість інтервалу керування прийнято такою, що дорівнює 1 хв. Результати моделювання при різних горизонтах керування і прогнозування представлено на рис. 4. Методика дослідження полягала у тому, що при фіксованому горизонті керування (1, 2 та 5 інтервалів) задавались різні значення горизонту прогнозування (3, 5, 10 та 20 інтервалів).

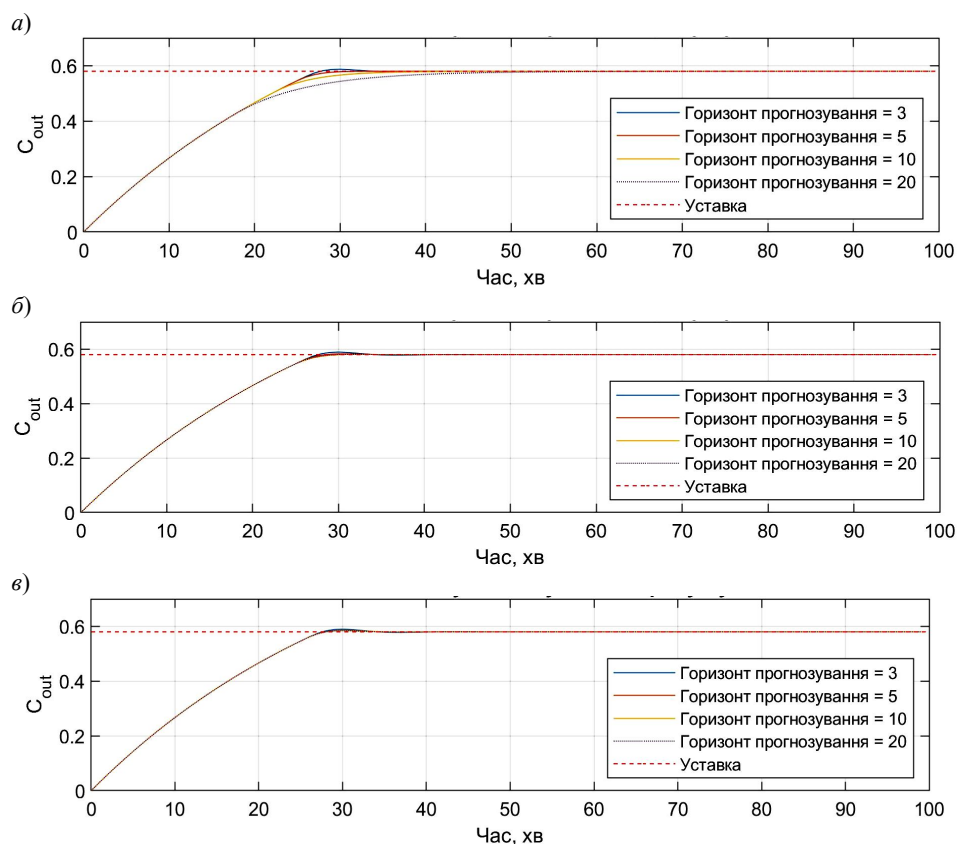


Рис. 4. Вихідна змінна при різних горизонтах керування і прогнозування:

a – горизонт прогнозування – 1; *b* – горизонт прогнозування – 2; *c* – горизонт прогнозування – 5

Зведені результати розрахунків показників якості керування процесом згущення залізорудної сировини при заданих значеннях горизонту керування та горизонту прогнозування представлено у табл. 4.

Одержані результати дозволяють зробити висновок, що при формуванні модельного прогнозуючого керування для одноканальної системи керування процесом згущення (рис. 3) достатнім буде встановлення горизонту керування таким, що дорівнює 1 інтервал. За даного значення квадратична помилка змінюється у інтервалі 0,1452–0,1474. Подальше збільшення горизонту прогнозування не дозволяє суттєво зменшити квадратичну помилку керування. Водночас, достатнім значенням горизонту прогнозування буде величина 3-5 інтервалів. Такі значення обумо-

влюються тим, що зростання обчислювальної складності процесу прогнозування на 10–20 інтервалів призводить до незначного зменшення квадратичної помилки керування.

Таблиця 4

Показники якості керування процесом згущення залізородної сировини

Горизонт керування	Горизонт прогнозування	Перерегулювання	Середня помилка	Квадратична помилка
1	3	1,2349	-0,0715	0,1474
1	5	0,005	-0,072	0,1472
1	10	0,0001	-0,0733	0,1467
1	20	0,0016	-0,0778	0,1452
2	3	1,6074	-0,0715	0,1475
2	5	0,5218	-0,0717	0,1473
2	10	0,1553	-0,0719	0,1473
2	20	0,2301	-0,0718	0,1473
5	3	1,6558	-0,0715	0,1475
5	5	0,9032	-0,0716	0,1474
5	10	0,8679	-0,0716	0,1474
5	20	0,7708	-0,0716	0,1474

Висновки та напрямки подальших досліджень. Для формування сепараційної характеристики процесу згущення рудної сировини на основі методу модельного прогнозування для одноканальної системи керування процесом згущення задовільні результати керування забезпечуються встановлення горизонту керування таким, що дорівнює 1 інтервал; при значенні горизонту прогнозування 3-5 інтервалів. Напрямок подальших досліджень є вивчення можливості керування процесом згущення як багатомірним об'єктом зі змінними

параметрами, що враховують, зокрема, змінення характеристик мінералого-технологічних різновидів переробленої залізородної сировини.

Список літератури

1. Младецкий И К., Колесник М. В. Соотношения между крупностью вкрапления ценного компонента и необходимой крупностью помола руды // Научные работы ДонНТУ. Серия: Гірнична електромеханіка. – Донецк, 2007. – Вип. 15(131). – С. 104–108.
2. Morkun V. S., Morkun N. V., Tron V. V. Clustering results dimension reduction of iron ore raw materials characteristics in the process of its processing // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – No 1. – P. 6-9.
3. Morkun V. S., Morkun N. V., Tron V. V. Distributed closed-loop control formation for technological line of iron ore raw materials beneficiation // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – No 7. – P. 16-19.
4. Тихонов О. Н. Закономерности эффективного разделения минералов в процессах обогащения полезных ископаемых. – М.: Недра, 1984. – 208 с.
5. Morkun V., Morkun N., Tron V., Hryshchenko S. Synthesis of robust controllers of technological units control systems of ore-dressing factory // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 1, No 2 (91). – P. 37-47.
6. Марюта А. Н., Качан Ю. Г., Бунько В. А. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик. – М.: Недра, 1983. – 277 с.
7. Линч А. Дж. Циклы дробления и измельчения. – М.: Недра, 1981. – 342 с.
8. Дослідження впливу динамічних ефектів високоенергетичного ультразвуку на газові бульбашки у пульпі для управління параметрами її газової фази у процесі флотації: звіт про НДР / ДВНЗ «Криворізький національний університет»; Керівник роботи Т. А. Олійник. – 0115U003053. Кривий Ріг, 2016. – 201 с.
9. Хміль І. В. Особливості технології подрібнення магнетитових кварцитів в умовах об'ємного нерівномірно-компонентного стиснення : дис. ... кандидата техн. наук: 05.15.08 / Хміль Ірина Віталіївна. – Держ. вищ. навч. закл. «Криворізь. нац. ун-т». – Кривий Ріг, 2016. – 158 с.
10. Draper N.R., Smith H. Applied regression analysis (3rd ed.). John Wiley, 1998. – 736 p.
11. Gujarati D. N., Porter D. C. Basic Econometrics (Fifth ed.). New York: McGraw-Hill/Irwin, 2009. – 922 p.
12. Автоматизация технологических процессов на горнорудных предприятиях: Справочное пособие / Под ред. В. С. Виноградова. – М.: Недра, 1984. – 167 с.
13. Моркун В. С., Моркун Н. В., Тронь В. В. Оптимальное управление процессом обогащения железной руды. – Saarbrücken: LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 321 p.
14. Vemprad A., Ricker N. L., Morari M. Model Predictive Control Toolbox User's Guide. The MathWorks, 2018. – 984 p.
15. Saraf, N., Vemprad, A. Fast model predictive control based on linear input/output models and bounded-variable least squares // IEEE 56th Annual Conference on Decision and Control. – 2018. – Vol 1. – P. 1919-1924.

Рукопис подано до редакції 02.04.2019

D.V. BROVKO, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., Head of Research Department,
V.V. KHVOROST, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., V. Yu. TYSHCHENKO, Research Assoc.,
Kryvyi Rih National University

RELIABILITY CORRECTION WHEN DETERMINING SAFE OPERATION OF MINE SURFACE OBJECTS RELATED TO THE BASIC PRODUCTION PROCESS

Purpose. To develop the method for determining the technical condition of the structural elements of surface mine objects, which allows for minimum correction in reliability levels and ensures the highest safety standards of the mine facilities.

Methodology. An analytical model for determining the building physical wear at a diagnostics of the mine surface object was developed, and its actual survivability was found. In order to determine the standard reliability levels, the object is represented as a system of hierarchically sequentially connected groups of bearing elements of the same type. When modeling, the main parameters like the actual state and the survivability degree of the structural elements were considered.

Findings. A model law of the building state is obtained in the form of the dependence of the wear of the bearing elements on its survivability. The threshold values of survivability are determined, at which the surface mine object passes into a qualitatively different state - from normal to satisfactory, from satisfactory to unsuitable, and from unsuitable to emergency. The proposed methodology for assessing safety of the operated buildings and surface structures can be used in practice to assess the degree of survivability, the type of technical state and a safe residual resource.

Originality. The scientific novelty of the method proposed consists in an adequate description of the technical state of the bearing elements of buildings and mine facilities, which takes its place among the new modern experimental studies of materials and structures of surface objects.

Practical value. The method enables to determine the object survivability at diagnostics, its technical state and safe residual resource. The mentioned activities increase safety of the operated facility, hence, ensure the preservation of both lives of the company's employees and tangible assets.

Keywords: mine surface objects, reliability, survivability, qualimetric assessment.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-14-18

Problem statement. Industrial surface objects at the mining enterprise related to the production processes are considered as a complex construction, representing an organized set of the identical constructions similar to foundation, walls, overlap, etc. The standard values of survivability are the average values at which the structural elements of the surfaces in mines pass into a different technical state. They are used to formulate the safety requirements for buildings and structures in assessing their technical condition.

Unsolved part of the problem. Modern science and production are based on the standard methods for determining the current condition of the structural elements. The standard values of the survivability include the following:

normal survivability, which regulates the survivability value of the object after completion of construction work;

satisfactory survivability, at which the mine surface object passes from the normal to the satisfactory condition. Repair works of the object are required;

unusable survivability, at which the object passes from the satisfactory to the unusable condition. The ability of the object to resist the loads acting on it is decreased. Repair and restoration works are required;

emergency survivability (crash), at which the mine surface object passes from the unusable to the emergency condition. The ability of the object to resist the loads acting on it is decreased and operation is strictly prohibited. At a time, the development and implementation of new techniques on a comprehensive determination of the current condition of the surface objects prolongs their safe operation.

Analysis of research and publications. The works of scientists V.V. Bolotin, A.R. Rzhantsyn, A.G. Roitman, V.D. Raiser contributed to the development of methods of reliability theory in construction.

Holicky M., Diamantidis D., Sykora M., Johan V. Retief, Celeste V. [1, 2] define modern criteria for designing structures that provide a wide range of reliability indicators for different base periods of existence of objects, even if their calculation for different base periods is uncertain through the inter-

dependence of failures. General approaches to the choice of reliability levels are discussed from the point of view of optimizing costs and human security. The target effects of cost reduction and the consequences of failures on security measures are considered. The issues of bridging the gap between probabilistic and operational evaluation at design are addressed. It was suggested that improved reliability principles and models could contribute to the further development of international standardization of construction [3, 4]. The works of K.M. Chaminda Konthesinghaa, Mark G. Stewart, Paraic Ryana, John Gingerb, David Hendersonb [5] are devoted to the development of a vulnerability model for predicting the probability and damage degree to metal lining of industrial buildings under extreme wind loads. The model uses structural reliability methods to describe the spatial distribution of wind load. In the work "Research on Industrial Building's Reliability Assessment Based on Projection Pursuit Model" Zhang Lei and Jie Liu presented a model of industrial building reliability based on the classification of observation results. Optimum values are obtained using the composite simplex method. The 3 factors, selected as a system of evaluation indicators, were identified from 11 affected the reliability of the industrial building.

It is often impossible to assess the influence of the whole range of the listed factors theoretically. Modern experimental studies on materials and building structures are therefore of heightened relevance.

Previously unsolved part of the general problem. The technical condition of the structural elements of buildings is assessed by comparing the maximum permissible (calculated or normative) and actual values characterizing strength, stability, deformability and performance of structures.

The properties of building materials, bases, loads and impacts, operating conditions are the determining factors when assessing the technical condition of a surface object. The method of limit states as a basis for calculating structures takes into account a statistical nature of the indicators in calculation, as well as an impact of various operational factors through the appropriate reliability factors. The limit states method is a semi-qualitative method for calculating reliability. It includes the probabilistic methods for normalizing the strength of materials, operating loads and reliability coefficients, and the strength is calculated in deterministic form. Therefore, the method of limit states does not allow for a comprehensive understanding of the survivability of the operated object.

Formulation of the objective. The main methods for determining the object survivability can be distinguished:

- technical;
- organoleptic;
- calculated.

A qualimetric assessment used for calculating the survivability of the surface object, that meets all the security requirements, ensures accident-free operation.

The use of the qualimetric assessment methods entails high-quality performance, minimizes correction in reliability levels and ensures high safety standard of the mine facilities.

Presentation of the main material. Unlike the standard survivability values, the standard reliability levels of elements groups are not constant. In order to determine the standard reliability level, an object is considered as a system of hierarchically and serially connected groups of the identical bearing elements. We assume that human errors committed in one of the groups do not depend on the errors made in other groups. Hence, we apply methods of the system reliability theory [1, 2], in order to assess v as a mine object reliability. The result is

$$v = \prod p_n, \quad (1)$$

where $\prod p_n$ is the work of the reliability levels of all groups of object elements.

To determine the average value of the survivability we should use the ratio resulting from (1)

$$R = \frac{1}{M_v}, \quad (2)$$

where M_v is the average value (mathematical expectation) of a random variable, the numerical values of which range from 0 to 1.

The analogy between the destruction of the elements and signals about their destruction is based on the following statistical positions.

Let there be a set of links between elements of a given strength $R_1, R_2, \dots, R_i, R_m$, the probabilities of which are not equal and presented as $P_1, P_2, \dots, P_i, P_m$.

As a result of the external load action, we can get the combination of the destroyed links that contains an n set of m links. Among them, let it be n_1 links P_1, n_2 links P_2, n_n links P_n . The probability of each link is determined $P_i = \frac{n_i}{n}$.

All destroyed links would be based on the complete system of unplanned (accidental) events:

$$\sum_{i=1}^m P_i = 1. \quad (3)$$

Further, from formula (3) in view of the relation (1) it follows that the average survivability of the surface mine object is

$$R = \frac{1}{M_v} = \frac{1}{\prod P_n}. \quad (4)$$

We suppose that in all n element groups of the mine surface object, the average reliability levels $p_{n.cp}$ are the same and equal to p_n . In this case, the average survivability of the building by definition is expected to equal to the normal value R_n , and formula (4) takes the form of $R_n = 1/p_n^n$, which determines the normal, satisfactory, and limit level of structural elements. This has resulted in

$$\begin{aligned} p_n &= \sqrt[n]{1/R_n}; \\ p_y &= \sqrt[n]{1/R_y}; \\ p_y &= \sqrt[n]{1/R_n}. \end{aligned} \quad (5)$$

Below is the research of the dependence of the reliability of elements on their quantity. We use data on the physical wear of industrial objects of the Kryvbas mining enterprises, which were obtained by the employees of the Kryvyi Rih National University at survey of over 1000 objects. In our case, we present data for the A-1 group objects related to the production processes.

For a more in-depth visualization, the data on physical wear of the objects under study are divided into four groups and visually represented in Fig. 1.

For practical application, the theoretical curve shown in Fig. 2 is divided into four linear sections, at the junction of which the physical wear varies discontinuously. It is known [4] that any change in the rate of wear indicates the change in the technical condition of the mine surface object. Investigations of the object survivability of different service life and the subsequent analysis of the study results served to define the location of the joint points (threshold values of survivability levels).

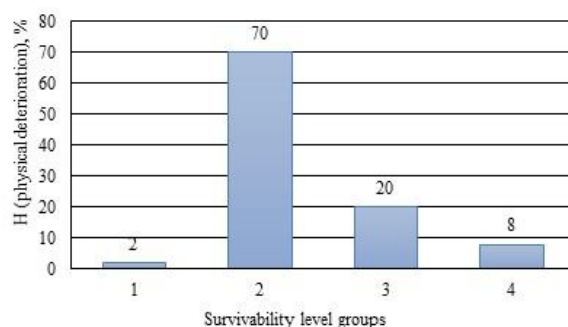


Fig. 1. Dividing the physical wear of the diagnosed objects into four groups

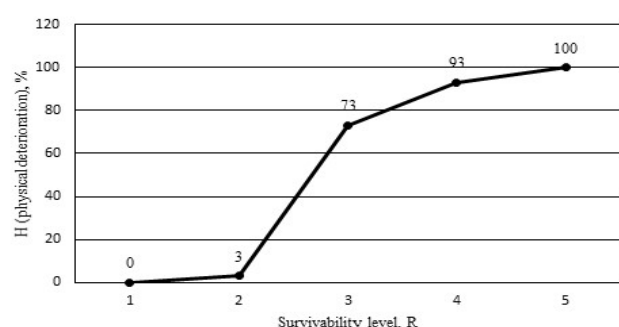


Fig. 2. Model degradation of the bearing construction of the mine object and threshold values of survivability

To achieve the desired diagram "wear-survivability", we determine the reliability levels by formula (5).

The operating time of the surface object until a satisfactory survivability $R_{sat}=3$ (satisfactory) determines T_o as an upper limit of the safe resource of the object. The technical state of the surface object

at this time interval can be treated as safe. When the object reaches an unusable survivability $R_{uns}=73$ (unusable), the wear is more than 60%. At such wear rate, repair works of the building are required [5]. Otherwise, the survivability continues to grow and reaches the next critical value $R_{crash}=93$ (crash), which determines the marginal resource of the surface object.

The survivability degree of the mine surface object depends on the technical condition of the groups of elements that form the entire structure of the facility. The number of such groups, as well as the number of structures in buildings and constructions are large. Determination of actual levels of the reliability at survey of structures is time-consuming and costly. The quantity of expert works will be drastically reduced if the principles of qualimetry are used as a basis for assessing the technical condition of the bearing framework of the mine surface object. For this purpose, the most and least defective constructions are found in each group, followed by an expert evaluation of their compliance with the project requirements in terms of ensuring their strength, rigidity and stability [6, 7].

The model selection of physical wear of the mine surface object is justified by studies of the resource of structures in the reliability theory [1, 2, 8, 9].

To predict the safe residual resource of the mine surface object, the dependence of physical wear on time is taken in the form of exponents

$$\Phi(T) = 1 - \exp(-i \cdot T_{factual}), \quad (6)$$

where i is the physical wear intensity of the mine object.

At $T_{factual}$, the wear is known and is equal to $\Phi = \Phi(T_{\phi})$. By comparing the obtained equations, we can get

$$1 - \exp(-kR) = 1 - \exp(-i \cdot T_{factual}),$$

$$i = \frac{0.0175R}{T_{factual}}. \quad (7)$$

Safe residual resource T_{safe} is determined by the formula $T_{safe} = T_{permissible}$, where $T_{permissible}$ is the start time of the surface mine object construction until it reaches the maximum permissible survivability $R_{permissible}$. The time $T_{permissible}$ with the intensity is determined from equation, (7), if to take that $\Phi_{limit}=0,50$ or $\Phi_{limit}=0,20$. As a result, the formulas for determining the safe residual life (srl) and the safe resource without a safety overhaul (swro) are the following, respectively:

$$T_{srl} = \frac{0.0525}{i};$$

$$T_{swro} = \frac{1.2775}{i}. \quad (8)$$

According to the formula (8) we can predict the safe resource of the mine surface object at the end of its construction. For this, the value $T_{factual}$ should be equal to zero. When $R_{factual} > R_{permissible}$ the safe resource of the mine surface object is completely exhausted.

The maximum service life of the mine surface object $T_{critical}$ can be predicted from the condition that the wear rate is known and equals $\Phi_{critical}=0,80$. Here, the time $T_{critical}$ can also be determined from the equation

$$T_{critical} = \frac{1.6275}{i}. \quad (9)$$

Formula (9) is valid if repair and restoration work has not been carried out at the site

If repair and restoration works at the site are not carried out by the end of a safe resource, the resistance of its elements under loads (especially emergency ones) is reduced and may lead to an accident.

Conclusions and further research. A model law of the operated building state is obtained in the form of the dependence of the wear of the bearing building constructions on its degree of survivability. We have determined the threshold values of the survivability, at which the surface object goes to a qualitatively different state like normal-satisfactory, satisfactory-unsuitable, and unsuitable-emergency.

The proposed methodology is confirmed to be used in assessing the survivability degree, the technical condition and the safe residual resource.

References

1. **Holicky M.** Risk and reliability acceptance criteria for civil engineering structures. / **M. Holicky, D. Diamantidis, M. Sykora** // In: Structural Reliability and Modelling in Mechanics, At Ostrava, Czech Republic. – 2016.
2. **Holicky M.** Determination of target safety for structures. In: Haukaas, T. (Ed.) / **M. Holicky, D. Diamantidis, M. Sykora** // Proceedings of the 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, Vancouver, Canada. – 2015. <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/53032/items/1.0076258>
3. **Holicky M** On standardization of the reliability basis of structural design. In: Haukaas, T. (Ed.) / **M. Holicky, D. Diamantidis, V. Johan** // Proceedings of the 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP12), Vancouver, Canada, July 12-15. – 2015. <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/53032/items/1.0076062>
4. **Holicky M.** Probabilistic Assessment Of Industrial Heritage Structures: Framework And Case Study. / **M. Holicky, M. Sykora** // In: WIT Press, Ashurst Lodge, Southampton, UK. – 2013. - Volume 131. - p. 171 - 182. DOI: 10.2495/STR130151
5. **Chaminda Konthesinghaa, K.M.** Reliability based vulnerability modelling of metal-clad industrial buildings to extreme wind loading for cyclonic regions. / **K.M. Chaminda Konthesinghaa, G. Mark, Stewarta, R. Paraic, G. John, H. David** // In: Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2015, - Volume 147. - p. 176–185. DOI: 10.1016/j.jweia.2015.10.002
6. **Stupnik N.** Modeling of stopes in soft ores during ore mining theme. / **N. Stupnik, V. Kalinichenko, V. Kolosov, S. Pismennyu, A. Shepel** // Metallurgical and mining industry. 2014. - №3, pp. 32–37.
7. **Бровко Д. В.** Дослідження конструкцій металевого арочного кріплення в умовах криворізького залізнично-го басейну. / **Д. В. Бровко, В. В. Хворост** // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. - Днепропетровск: ИГТМ НАНУ. – 2015. – №123. – С. 99–106.
8. **Андреев Б. М.** Визначення надійності та обґрунтування параметрів об'єктів на поверхні шахт з урахуванням переходу на полегшені огорожувальні конструкції / **Б. М. Андреев, Д. В. Бровко, В. В. Хворост** // Metallurgical and mining industry. – 2015. – no. 12. – С. 378–382. DOI: 10.13140/RG.2.2.30779.31529
9. **Бровко Д. В.** Оценка риска надежности конструкций эксплуатируемых объектов горнопромышленного предприятия / **Б. Н. Андреев, Д. В. Бровко, В. В. Хворост** // Сборник научных трудов: БНТУ. – Минск, 2013. – т.1. – С. 180–190.
10. **Ступник Н.И.** Разработка рекомендаций по выбору типа крепления горных выработок и сопряжений в условиях урановых шахт ГП "ВОСТГОК" / **Н.И. Ступник, М.Б. Федько, В.А. Колосов, С.В. Письменный** // Науковий вісник НГУ. – 2014. – № 5. – С.21-25.
11. **Golik, V.** Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures. / **V. Golik, V. Komashchenko, V. Morkun** // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. - No 3, p.p. 38-41.
12. **Golik, V.** Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use. / **V. Golik, V. Komashchenko, V. Morkun** // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. - No 3, p.p. 49-52.
13. **Golik V.** Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation. / **V. Golik, V. Komashchenko, V. Morkun** // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. - No 4, p.p. 321-324.
14. **Stupnik, N.I.** Testing complex-structural magnetite quartzite deposits chamber system design theme. / **N.I. Stupnik, V.A. Kalinichenko, V.A. Kolosov, S.V. Pismenny, M.B. Fedko** // Metallurgical and mining industry. – 2014. - No 2, pp 88–93.
15. **Федько М.Б.** Экономические аспекты перехода на бестрогильные взрывчатые вещества при подземной добыче руд в Криворожско бассейне / **М.Б. Федько, В.А. Колосов, Е.А. Калиниченко, С.В. Письменный** // Науковий вісник НГУ. – 2014. – № 4. – С.79-84.

The editorial board received a manuscript on 19.04.2018

УДК 624.03

С.В. КОЛЕСНИЧЕНКО, Ю.В. СЕЛЮТИН, кандидати техн. наук, доценти,
К.Б. МНАЦАКАНЯН, ст. викладач
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

ВИМОГИ ДО ЕКСПЕРТІВ З ТЕХНІЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Мета. Метою даної роботи є запропонувати переглянути стандартні вимоги до фахової кваліфікації претендента на проходження професійної атестації за видом робіт «Експертиза та обстеження у будівництві» та «Технічного нагляду». Ввести регулярне проходження експертами курсів підвищення кваліфікації за фахом. Запропонувати внесення категорій до сертифікату експерта з обстеження так як у сертифікації експерта з технічного нагляду, залежно від класу наслідків об'єкта будівництва.

Методи дослідження. Аналіз кваліфікаційних вимог, а саме їх достатність, до виконавців робіт для проходження професійної атестації за видом робіт експерт з обстеження будівель і споруд.

Наукова новизна. Для експерта з обстеження можливо запропонувати категорії сертифікату, які визначені як для технічного нагляду – категорія сертифіката залежить від класу наслідків об'єкта будівництва. Перша категорія для класів СС1 та СС2. Друга категорія - для всіх класів наслідків.

Практична значимість. Проведений аналіз фахової підготовки експертів дозволяє подекуди розширити, а подекуди повністю змінити перелік тем або компетенцій знань для експертів з обстеження. Тематику підвищення кваліфікації та ступені складності навчання для цієї категорії експертів потрібно компанувати залежно від типу підготовки та категорії сертифікату.

Результати. Запропоновані основні теми фахової підготовки експертів, які залежать від ступеня складності навчання (враховується тип підготовки – первинна або підвищення кваліфікації) та категорії сертифікату. На базі цих тем формується перелік запитань для складання фахового іспиту.

Ключові слова: експерти, фахова підготовка, сертифікат, категорії, обстеження, будівлі, споруди.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-18-24

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. У відповідності до чинного законодавства [1, 2, 3] роботи з обстеження будівель і споруд виконуються тільки виконавцями робіт, які пройшли професійну атестацію експерта з технічного обстеження будівель і споруд (надалі, атестованого експерта з питань обстеження будемо називати «експерт»).

Сам факт такої уваги вказує на те, що проблема існує та її вирішувати мають спеціально підготовлені фахівці. Зазначено основні вимоги до майбутніх експертів:

за наявності професійної освіти на рівні спеціаліста або магістра – стаж роботи за фахом не менш як три роки;

без спеціальної освіти – стаж роботи за фахом не менш як десять років.

Професійна атестація проводиться Атестаційною архітектурно-будівельною комісією яка утворюється Мінрегіонбудом. Підготовка до розгляду документів, необхідних для атестації, може також відбуватися у громадських організаціях за напрямом професійної атестації.

Основною вимогою до експертів безумовно має бути професійна кваліфікація, яка визначається базовою освітою. Експерт з обстеження повинен мати вищу освіту на рівні освітньо-кваліфікаційного рівня магістр (спеціаліст або інженер) за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» або (за старою класифікацією) за напрямом 0601 «Будівництво та архітектура», спеціальність – «Промислове і цивільне будівництво».

Але, навіть навчання за спорідненими спеціальностями, такими, як «Архітектура будівель і споруд» та «Міське будівництво та господарство» не є достатнім для виконання необхідних розрахунків будівельних конструкцій для визначення технічного стану та визначення повного обсягу необхідних відновлювальних робіт.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблемі обстеження призначена велика кількість наукових публікацій та досліджень Шимановського О.В. [4, 5, 6-8, 9], Клименка Є.В. [10,11], Семка О.В. [12], Кулябка В.В. [13,14], Казакевича М.І. [15, 16], Білика С.І. [17, 18], але переважна їхня кількість стосується або безпосередньо визначенню актуальності проблеми обстеження як такої, принципам та засобам виконання робіт, опису проблем обстеження окремих об'єктів.

Що стосується професійних вимог до експертів з обстеження, то робіт із науковим обґрунтуванням вимог до компетенцій і знань експертів практично немає.

Постановка завдання, мета публікації. Під час експлуатації будівельних конструкцій існує комплекс різних заходів, що повинні забезпечувати не тільки необхідні підтримку робочого стану, але, також, надійну і безпечну експлуатацію у межах та поза межами проектного ресурсу [6, 9]. Одним з основних заходів є процедура обстеження, за допомогою якої забезпечується не тільки необхідні експлуатаційні вимоги, але й розробка проектних рішень для можливої подальшої реконструкції, технічного переоснащення та капітального ремонту. Для останніх процедура обстеження є обов'язковою [4, 19, 20].

Під терміном «обстеження» розуміємо самостійний комплексний вид будівельних робіт, що виконується спеціалістами під керівництвом відповідних експертів, для визначення параметрів технічного стану (ПТС) та оцінки технічного стану окремих конструкцій та будівлі/споруди в цілому, розрахунків залишкового ресурсу з відповідним рівнем ризику подальшої експлуатації. На підставі робіт з обстеження визначається необхідність та склад відновлювальних робіт (поточний ремонт, капітальний ремонт, роботи у складі реконструкції або технічного переоснащення), розробляються пропозиції щодо складу та технічних рішень відновлювальних робіт для подальшої їх реалізації у спеціальних проектах. Роботи з обстеження оформлюються

у вигляді науково-технічного (технічного) звіту. На підставі цього звіту оформлюється (вносяться зміни) Паспорт технічного стану об'єкта.

Враховуючи вищезазначене, метою цієї публікації є розробка пропозицій щодо удосконалення вимог до експертів з технічного обстеження будівель та споруд, що спрямована на підвищення їхнього професійного рівня.

Викладення основного матеріалу. Особливості технічної експлуатації (ТЕ) будівель і споруд визначили наступні проблеми:

більшість конструкцій в умовах довготривалої експлуатації отримали ДП різного ступеню розвитку, що не завжди існує у наявній технічній документації;

фахівцям служб технічної експлуатації (СТЕ), що відповідають за безпечну експлуатацію, потрібен значний час для систематизації матеріалів із результатами контролю технічного стану. Таке збільшення документообігу вимагає збільшення штату персоналу СТЕ та оптимізації його роботи для систематизації інформації результатів обстежень і оглядів;

відсутній кваліфікований спеціалізований персонал, що може реально оцінити стан та можливість нормальної подальшої експлуатації за результатами регулярних оглядів. Навіть за наявності результатів технічних обстежень, що виконані спеціалізованими організаціями, ігноруються деякі важливі положення щодо безпечного утримання будівельних об'єктів. Це можна пояснити тим, що за нагляд, як правило, відповідає керівник об'єкта, який має фахову технологічну а не профільну будівельну освіту.

Достатньо показовою є статистика аварій 120 будівель [21] (див. рис.1). Також, у роботі [4, табл. 1.10] наведено дані, що порушення вимог правил експлуатації є причиною більше, ніж 50% аварій.

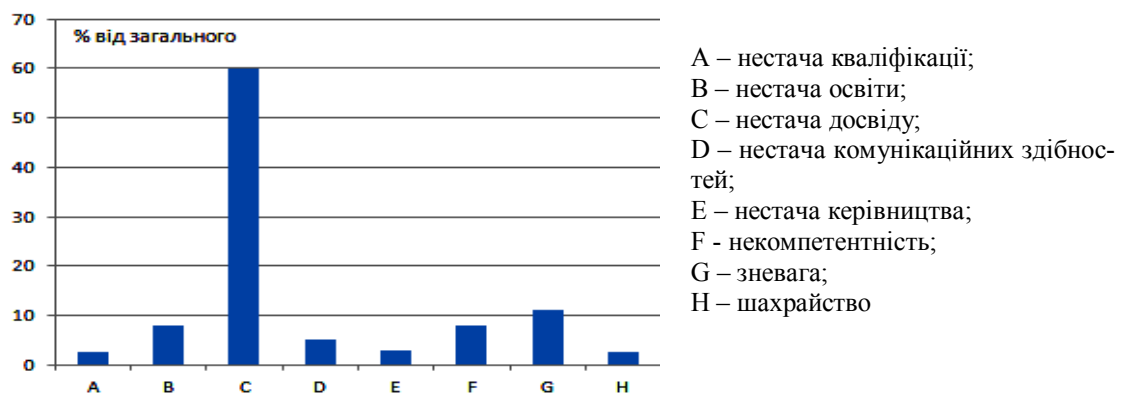


Рис.1. Аналіз причин конструкційного руйнування будівель

Аналізуючи ці дані, можна констатувати, що переважна кількість аварій будівель під час експлуатації приходить на відсутність досвіду експлуатації, що тісно пов'язаний із відсутністю фахової освіти. Необхідно сказати, що нормативні вимоги які регламентували функціонування служб експлуатації БС існували завжди, але, переважною більшістю у документах з охорони та безпеки праці. У зв'язку із погіршенням поточного стану парку будівельних конструкцій у цілому, у 1999 році в Україні було затверджено спеціальний документ – «Положення про безпечну та надійну експлуатацію виробничих будівель і споруд» [22], призначений виключно для будівель та споруд.

Разом с тим, фахівці служб ТЕ не мають права виконувати роботи з обстеження та оцінювати поточний стан конструкцій будівель і споруд. Ця функція покладена на експертів та фахівців з обстеження. Від якості та повноти інформації, який повинен містити технічний звіт, великим чином буде залежить відношення та увага до особливостей експлуатації конструкцій.

Проаналізуємо та визначимо вимоги до експертів, які мають бути обов'язковими, якщо брати до уваги склад робіт з обстеження:

- попередній огляд об'єкта;
- ознайомлення з наявною технічною документацією;
- ознайомлення з наявними інженерними вишукуванням;
- ознайомлення з технологічним процесом. Аналіз його впливу на стан конструкцій;

попередня загальна оцінка стану. Узгодження програми та обсягів робіт. Підписання договору із власником для виконання обстеження;

обміри конструкцій. Розробка всіх необхідних обмірних креслень. Обмірні креслення в подальшому є базою для виконання розрахунків та розробки відповідних проектних рішень;

визначення схем та стану інженерних мереж. Аналіз їх впливу на стан конструкцій;

аналіз організації роботи з утримання будівлі, споруди. Аналіз наявних організаційних документів;

визначення дефектів та пошкоджень – ДП. Аналіз їх розвитку на підставі робіт з утримання або попереднього обстеження (за наявності);

визначення навантажень та впливів, в тому числі їх змінення у зв'язку із дією нових нормативних документів;

визначення механічних властивостей матеріалів;

виконання натурального статичного і динамічного тестування конструкцій;

уточнення розрахункових схем. Розрахунки конструкцій за групами граничних станів для визначення несучої здатності. Визначення рівня конструктивної безпеки;

оцінка технічного стану об'єкта. Стан визначається тільки на підставі розрахунків конструкцій;

визначення необхідності та складу відновлювальних робіт (поточний ремонт, капітальний ремонт, роботи у складі реконструкції або технічного переоснащення);

розробка пропозицій щодо складу та технічних рішень відновлювальних робіт для подальшої їх реалізації у спеціальних проектах;

розробка рекомендацій з заходів організаційної безпеки;

розробка рекомендацій з заходів подальшого моніторингу технічного стану об'єкта;

розрахунок показників рівня технологічної безпеки (до виконання робіт з обстеження та після відновлювальних робіт);

на підставі розроблених прогностичних моделей виконується розрахунок залишкового ресурсу подальшої експлуатації об'єкта з урахуванням ризику.

призначення терміну наступного планового обстеження. Розробка рекомендацій щодо утримання та подальших планових оглядів;

складання (або внесення змін до існуючого) технічного паспорту об'єкта (при необхідності).

На підставі складу цих робіт, подальшої розробки проекту та його експертизи необхідно переглянути вимоги до експертів, що стосуються їх роботи за фахом та необхідного стажу.

Так, для успішного проходження процедури професійної атестації, яка проводиться Атестаційною архітектурно-будівельною комісією, необхідно пройти процедуру підвищення кваліфікації за відповідною програмою. Наприклад громадська будівельна організація «Асоціація експертів будівельної галузі» пропонує для підготовки спеціальні модулі підвищення кваліфікації для будівельних експертів:

1. Законодавче регулювання інвестиційної діяльності у будівельній галузі.
2. Нормативно-правове регулювання в будівництві України.
3. Технічне регулювання в Україні. Система стандартизації.
4. Технічне регулювання в будівництві України. Законодавче і нормативне регулювання.
5. Нормативна база, сучасний стан і національні особливості.
6. Містобудування, життєве середовище та параметри об'єкту.
7. Вишукування. Чинні вимоги і вплив на безпеку об'єкту.
8. Проектна документація на будівництво. Чинні вимоги і вплив на безпеку об'єкту.
9. Зведення об'єктів будівництва. Чинні вимоги, забезпечення надійності і безпеки об'єкту.
10. Основні положення з діагностики технічного стану об'єктів будівництва.
11. Загальні положення щодо основної вимоги безпеки технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд «забезпечення механічного опору та стійкості».
12. Загальні положення щодо основної вимоги безпеки технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд «забезпечення безпеки експлуатації».
13. Можливості зниження витрат ресурсів та забезпечення надійності і умовах чинної законодавчо-нормативної бази.
14. Залежність надійності будівель і споруд на різних етапах життєвого циклу від прийнятих конструктивних схем і їх складових частин.

15. Оцінка технічного стану та рівня надійності об'єктів будівництва.

По-перше, треба визначити саме поняття «робота за фахом». Якщо людина працювала на будівельному майданчику, або, навіть у відділі технічного нагляду / службі експлуатації, вона не мала достатнього досвіду щодо роботи із актуальними будівельними нормами, проектуванням та розрахунками конструкцій, використанням методів засобів випробувань, розробкою проектних рішень.

Роботою за фахом можна вважати документально підтвержені результати виконання будівельних проектів, роботи у складі групи з обстеження, виконання науково-дослідних робіт з випробування конструкцій. Тільки фахівець, який неодноразово пройшов всі етапи за ланцюгом «передпроектні роботи – розрахунки конструкцій – проектування (виконання креслень КМ та КМД) – випробування – обстеження» може розуміти поведінку складної системи, до яких належать сталеві конструкції БС.

Від фахових вимог легко перейти до стажу роботи за фахом. Кількість років не має бути головним критерієм оцінювання. Однак, досвід приходить із роками. Тому, за базовий стаж можна прийняти 5 років. Але, основною вимогою повинна стати кількість робіт та їхня складність, функціональні обов'язки спеціаліста під час їх виконання. У переліку необхідних документів, завірених підписом атестованого (атестованих) експертів повинні бути резюме із описом самостійно або у групі виконаних робіт за розділами науково-технічного звіту. Причому, претендент зобов'язаний виконати всі типи робіт у складі звіту – від уточнення навантажень до розробки вузлів підсилення конструкцій, розрахунків і випробувань.

Для експерта з обстеження можливо запропонувати категорії сертифікату, які визначені для технічного нагляду – категорія сертифіката залежить від класу наслідків об'єкта будівництва. Логічно було б спочатку видавати сертифікати для класів СС1 та СС2 на п'ять років – перша категорія. Якщо експерт виконав обстеження достатньої (наприклад, більше 10) кількості об'єктів, він має право отримати сертифікат другої категорії - для всіх класів наслідків. Сертифікат діє до 7 років. У разі, якщо експерт не виконував робіт, або їхня кількість недостатня, він позбавляється сертифікату.

І, нарешті, перелік тем, або компетенцій та знань, якими має володіти експерт з обстеження. Загальна кількість навчальних годин занять підвищення кваліфікації (при наявній базовій освіті не нижче бакалавра) не може бути меншою, ніж 72 години. Вони повинні охоплювати все коло проблем за вищезазначеним ланцюгом. Можна запропонувати основні теми, які залежать від ступеня складності навчання (враховується тип підготовки – первинна або підвищення кваліфікації) та категорії сертифікату. На базі цих тем формується перелік запитань для складання фахового іспиту.

1. Актуальна правова та нормативна база у будівництві. Проектування, обстеження, випробування, експлуатація.

2. Основні показники надійності та безпеки проектування і експлуатації будівельних конструкцій.

3. Структура науково-технічного звіту за результатами обстеження. Підготовка експертного висновку. Відповідальність за надані результати обстеження.

4. Склад проектно-кошторисної документації. Стадії розробки проектів.

5. Принципи розрахунків будівельних систем. Особливості визначення розрахункових схем. Специфічні особливості для конструкцій в умовах експлуатації. Додаткові вимоги для конструкцій під дією динамічних навантажень.

6. Дефекти та пошкодження. Розрахунок деградаційних моделей розвитку недосконаlostей.

7. Випробування. Застосування методів визначення напружено-деформованого стану. Порівняння даних випробувань із теоретичними розрахунками. Методи неруйнівного контролю.

8. Комплексне оцінювання безпеки експлуатації конструкцій будівель і споруд. Методи визначення залишкового ресурсу. Правила призначення термінів наступного обстеження.

9. Фактори ризиків експлуатації будівельних конструкцій. Методи ідентифікації, розрахунків і зниження ризиків.

10. Реалізація і контроль рекомендацій з відновлення, наданих у науково-технічному звіті для проектно-кошторисної документації та при виконанні будівельних робіт.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Основними висновками можна вважати: необхідність створення якісно поліпшеного рівня підготовки експертів з обстеження;

рівень підготовки забезпечується шляхом удосконалення вимог та компетенцій для підготовки за запропонованими темами;

кваліфікаційні сертифікати мають бути диференційовані у відповідності до класу наслідків об'єктів будівництва і повинні видаватися з урахуванням досвіду практичної роботи;

термін дії сертифікату повинен підтверджуватися постійним підвищенням кваліфікації.

Подальші дослідження необхідно проводити для визначення компетенцій і знань для фахівці з технічної експлуатації щодо безпечного утримання конструкцій будівель і споруд.

Список літератури

1. Закон України «Про архітектурну діяльність»;
2. Закон України. «Про регулювання містобудівної діяльності».
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 23 травня 2011 р. N 554 «Деякі питання професійної атестації відповідальних виконавців окремих видів робіт (послуг), пов'язаних із створенням об'єктів архітектури».
4. **Перельмутер А.В.** Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні./А.В. Перельмутер, В.М. Гордєєв, С.В. Горохов та ін. //– К.: УІНСІЗР, 2002. – 92 с.
5. **Шимановський О.В.** Аналіз технічного стану та проблем експлуатації будівельних металевих конструкцій в Україні./ О.В. Шимановський, В.М. Гордєєв, М.О. Микитаренко та ін.// Будівельні конструкції.- 2001 р.- №3, С. 18-24.
6. **Шимановський О.В.** Концептуальні основи системи технічного регулювання надійності й безпечності будівельних конструкцій./ А.В. Шимановський, В.П. Корольов// Промислове будівництво та інженерні споруди. - 2008. - № 1. - С. 3-9.
7. **Шимановський А.В.** Нормативное обеспечение безопасности зданий и сооружений при оценке остаточного ресурса металлоконструкций./ Шимановский А.В., Гордеев В.Н., Королев В.П., Оглобля А.И., Перельмутер А.В.//Сб. трудов VIII Украинской научно-технической конференции «Металлические конструкции. Взгляд в прошлое и будущее».- 2004.- С. 417-428.
8. **Шимановський О.В.** Забезпечення надійності й безпечної експлуатації будівельних металоконструкцій./ О.В. Шимановський, В.М. Гордєєв, В.П. Корольов, О.І. Оглобля та ін.// Будівництво України 2004 р.- №3, С. 15-28.
9. **Шимановський А.В.** Подготовка и проведение обследований металлических конструкций. Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – Випуск 17, 2016 р., стор. 4-14.
10. **Клименко Є.В.** Організація робіт з моніторингу технічного стану залізобетонних конструкцій. Є.В. Клименко, В.С. Дорофєєв // Дороги і мости: Зб. наук. пр.: У 2-х т. –Т.1. – К.: ДерждорНДІ, 2007. – Вип. 7. – С. 223–230.
11. **Клименко Є.В.** Початковий ресурс залізобетонних конструкцій // Вісн. Одес. держ. акад. будівництва та архітектури / Одес. держ. акад. будівництва та архітектури. –Одеса: ОДАБА, 2006. – Вип.24. – С. 114–119.
12. **Семко О.В.** До аналізу ризиків помилкової діагностики при обстеженні несучих будівельних конструкцій. О.В. Семко, О.П. Воскобійник. // Збірник: Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения № 47, 574-578, 2008р, Придніпровська ДАБА.
13. **Кулябко В.В.** Динамическая паспортизация и диагностика технического состояния зданий с новым виброактивным технологическим оборудованием./ В.В. Кулябко, Е.М. Ермак, А.О. Исмагилов, А.В. Масловский // Промислове будівництво та інженерні споруди.- 2008/- №1, С. 10-19.
14. **Кулябко В.В.** Динамика пространственных объектов – расчеты, принципы конструирования и стабилизации//Пространственные конструкции зданий и сооружений. - М: Девятка принт. 2004.- Вып.9.-С.74-82.
15. **Казакевич М.И.** Актуальные проблемы динамики сооружений. / М.И. Казакевич, В.В. Кулябко //Металлические конструкции.-1998.-Том1. №1.-С.65-74.
16. **Казакевич М.И.** Динамическая диагностика и мониторинг состояния строительных конструкций ответственных сооружений. / М.И. Казакевич, В.В. Кулябко //Труды IV-й украинской научно-технической конференции «Металлические конструкции».- Киев-Николаев.-1996.-С.84-85.
17. **Білик С.І.** Про безпеку експлуатації будівель після вичерпання встановленого строку служби. С.І. Білик, В.О. Володимирський, А.С. Білик. Ресурсноекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. 2014 р.
18. **Білик С.І.** Коефіцієнт стійкості центрально-стиснутих сталевих елементів з урахуванням початкових деформацій та геометричних недосконалостей. С.І. Білик, А.С. Білик. Журнал «Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения». Приднепровская ГАСА. – 2015.- №82, стр. 32-37.
19. ДБН А.2.2-3-2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво.
20. Постанова КМУ №257 від 12.04.2017. «Про затвердження порядку проведення обстеження прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва».
21. **Thoft-Christensen, P.** (2001). Risk Analysis in Civil Engineering. Aalborg: Dept. of Building Technology and Structural Engineering. Structural Reliability Theory, No. 224, Vol.. R0163.
22. Положение о безопасной и надежной эксплуатации производственных зданий и сооружений. Совместный приказ Госстроя и Госнадзорохрантруда Украины от 28 июля 1999 г. № 184/140.

Рукопис подано до редакції 05.04.2019

С.М. БОЙКО, канд. техн. наук,
Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету
І.О. СІНЧУК, канд. техн. наук, доц., А.П. СІНОЛИЦІЙ,
Є.О. НЕСМАШНИЙ, доктори техн. наук, професори, О.В. ДОЗОРЕНКО, аспірант
Криворізький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В УМОВАХ РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Мета. Метою даної роботи є аналіз особливостей прогнозування рівнів електроспоживання в умовах залізрудних підприємств при впровадженні розподільчих електричних мереж з відновлювальними джерелами електроенергії, на основі аналізу графіків прогнозу генерації енергетичними установками на базі відновлювальних джерел енергії в умовах залізрудних підприємств та процесу електроспоживання приймачами цих підприємств.

Методи дослідження. У статті для прогнозування рівнів електроенергоспоживання приймачами залізрудних підприємств при впровадженні в існуючі структури систем електропостачання відновлюваних джерел енергії використовувався метод штучних нейронних мереж.

Наукова новизна полягає в тому, що запропоновано прогнозувати рівні енергоспоживання за допомогою нейронних мереж в умовах розподільчих мереж залізрудних підприємств та при впровадженні в їх структуру відновлювальних джерел енергії.

Практична значимість. Фактори, що впливають на ефективність погодинного прогнозу, включають прогнозний горизонт, місцеві погодні умови, географічне охоплення, доступність, якість даних та інші. З огляду на той факт, що система електропостачання залізрудного підприємства планується бути комбінованою – це ускладнює процес прогнозування електроспоживання, оскільки із загальної спожитої електричної енергії необхідно віднімати власну згенеровану електричну енергію. На сьогодні розроблено велику кількість методів прогнозування електроспоживання, проте не існує універсального методу, так як об'єкт прогнозування, має унікальний характер електроспоживання і складні залежності між електроспоживанням і факторами, що на них впливають. Тому обґрунтовано, що при короткостроковому і довгостроковому прогнозуванні слід віддавати перевагу штучним нейронним мережам, що покращить точність прогнозу в умовах багатофакторності.

Результати. Запропоновано підхід до вирішення цієї проблеми, який базується на реалізації прогнозу моделі для оцінки очікуваних рівнів електроспоживання з врахуванням функціонування в структурі систем автономних джерел генерації електричної енергії на основі відновлювальних джерел електроенергії. Запропоновано тактику оцінювання існуючих та очікуваних рівнів споживання електроенергії приймачами залізрудних підприємств з підземним способом видобутку залізрудної сировини, з подальшим втіленням цього процесу в структуру керування процесом електроспоживання. Це дозволить підприємствам збільшити енергоефективність та зменшити витрати на споживану електроенергію.

Ключові слова: електропостачання, електроспоживання, прогнозування, відновлювані джерела енергії, штучні нейронні мережі.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-24-29

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними результатами. Макроекономіка України, як держави, розвивається та формується на сировинній базі. Однією з основних базових формувань такого економічного формату є залізрудна галузь [1].

Продукція цієї галузі – залізрудна сировина (ЗРС), будучи в свою чергу сировиною для металургійної галузі, щорічно дозволяє поповнити валютні запаси країни на 50-60% та водночас є базовою складовою системо-утворюючого процесу формування ВВП [2].

Залізрудна сировина (сира руда, аглоруда) видобувається як відкритим (кар'єр), так і підземним (шахта, рудник) способами. Залізрудні підприємства гірничорудної галузі відносяться до класу енергоємних. Встановлені електричні потужності підприємств з відкритими способами видобутку в середньому становлять 30 МВт, а підземні – 3 МВт. З ряду відомих причин з 1991 по 2001 р. спостерігалась стійка тенденція зменшення рівнів споживання ЕЕ по всім без виключення залізрудним підприємствам України [3].

Проте в останні роки цей процес стабілізувався. В [4] приведені графіки споживання електроенергії (ЕЕ) рядом залізрудних підприємств з підземними способами видобутку ЗРС. Як свідчить різниця в рівнях споживання за останні п'ять років в гірничому видобутку не перевищувала 30 %. Між тим рівень впливу обсягів споживання ЕЕ на показники собівартості видобутку ЗРС щорічно зростає, чого не скажеш про ціну цього продукту на світовому ринку сировини. Перед залізрудними підприємствами постала важлива задача – вирішення проблеми міні-

мізації росту частки енергозатрат в загальному комплексі ціни собівартості ЗРС. Вирішення цієї задачі лежить в площині комплексності пошуку результату.

Встановлені рядом досліджень результати пошуку напрямків підвищення електроенергоєфективності видобутку ЗРС [4-11] виділили, проміж інших, найбільш ефективний напрямок – включення в структуру систем електропостачання залізрудних підприємств автономних джерел ЕЕ на основі відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Тобто по суті необхідно перебудувати системи електропостачання з централізованого виду живлення на так звані варіанти розподільчих мереж. Така синергетика систем живлення приймачів ЕЕ в структурі енергетичного комплексу електропостачання-електроспоживання передбачає значне зниження матеріальних затрат (в 2-3 рази) підприємств за спожитою енергією від генеруючих компаній. Водночас в такому варіанті, в свою чергу, можуть бути свої підваріанти [12-14].

Та все ж незалежно від варіантів, в т.ч. від їх кількості, важливим моментом в досягненні очікуваного рівня ефективності цього процесу є прогнозування необхідних рівнів генерування та обсягів споживання ЕЕ, а точніше адаптивна реакція на ці зміни з боку самого підприємства. Це пов'язано з тим, що прогнози обсягів споживання електричної енергії використовуються для формування щорічних зведених балансів виробництва і споживання електричної енергії. Баланси виробництва і споживання електричної енергії, в свою чергу, є основою для формування графіків ремонту устаткування і т.д.

Між тим, короткострокові прогнози споживання в свою чергу є основою для формування диспетчерських графіків. Одночасно визначаються необхідні обсяги та розміщення резервів потужності в єдиній енергетичній системі підприємства.

Узгоджені графіки споживання і генерації є найважливішими показниками, що визначають основні аспекти їх роботи – графіки вироблення електроенергії станціями з урахуванням резервів, склад генеруючого обладнання, обсяги купівлі та продажу електроенергії і потужності на ринку.

Планування споживання здійснюється на основі прогнозу сумарного показника і кожної компоненти, при цьому структура споживання повинна бути збалансована на кожному етапі і рівні планування. Обсяги вихідних даних і моделі прогнозів для різних компонент можуть бути різними. Виникає необхідність розробки адаптивної системи моделей прогнозування та планування споживання, застосовної на різних стадіях і ланках планування.

Між тим, така ідеологія, яка швидше відноситься до організаційних заходів, не може бути достатньою для досягнення реального ефекту.

Цікавим доповненням до вищезазначених слів може бути впровадження в практику роботи залізрудних підприємств автономних джерел енергії на основі існуючих ресурсів самих підприємств. Перш за все необхідно зробити акцент на маючі місце в підземних умовах водопритоках і штучному нагнітання повітря в гірничі виробки.

Саме на цих джерелах можливо і необхідно створювати автономні джерела енергії, включивши їх в структуру систем електропостачання-електроспоживання даного гірничого підприємства.

Аналіз досліджень і публікацій. Як показали результати досліджень авторів, достатньо ефективним в напрямку впровадження відновлюваних джерел енергії є створення гідроакмулюючих міні- та мікроелектростанцій на базі водовідливів шахт, кар'єрів та збагачувальних комплексів, вітроенергетичних станцій та сонячних електростанцій [6].

Відповідно до закону України «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017, № 2019-VIII, починає діяти ринок купівлі електроенергії «на добу вперед» зі штрафами за неподання прогнозів або за невиконання наданих прогнозів. У Законі відсутні механізми збору та аналізу даних для короткострокового прогнозу генерації відповідно до потреби в електроенергії.

Також слід зазначити, що довгостроковий, короткостроковий і оперативні прогнози споживання електроенергії вимагають різних методик. Для реалізації довгострокових прогнозів потрібні сценарні підходи для оцінки загальноекономічної ситуації, галузевих тенденцій розвитку і т.п. Для короткострокових прогнозів важливий облік метеофакторів, характеру дня (робочий, вихідний), стану режиму енергосистеми в найближчій ретроспективі. При оперативному прогнозуванні в темпі процесу потрібні адаптивні моделі прогнозу.

Постановка завдання. Розробка тактики оцінювання існуючих та очікуваних рівнів споживання ЕЕ приймачами залізородних підприємств з підземним способом видобутку ЗРС з подальшим втіленням цього процесу в структуру керування процесом електроспоживання.

Виклад матеріалу та результати. Отже, основна проблема прогнозування генерації ВДЕ в умовах ЗРП в порівнянні із традиційними джерелами, є недостовірність прогнозів споживання енергії ЗРП плюс власне проблеми короткострокового прогнозування метеоумов «на добу вперед», що фактично впливає на погодинне прогнозування генерації.

Слід відзначити, що ця проблема наразі не вирішена остаточно. В ряді відомих публікацій пропонуються алгоритми і програмні комплекси, але загальноновизнаних «стандартів галузі» для прогнозування генерації ВДЕ немає.

Між тим, фактори, що впливають на ефективність погодинного прогнозу, включають прогнозний горизонт, місцеві погодні умови (що впливають на мінливість ресурсів ВДЕ), географічне охоплення, доступність даних (наприклад, обсяг, місце розташування, способи і надійність надання інформації) та якість даних (наприклад, узгодженість за часом, точність, розбивку і корекцію за охопленням території) та інші.

Точність прогнозів ВДЕ зазвичай збільшується при більш коротких інтервалах часу отримання значень оброблених поточних метеоданих. Наприклад, для погодинного прогнозування в межах помилки до $\pm 5\%$ потрібно мати дані для прогнозування з розбивкою на 15 хв, які в свою чергу повинні використовувати для розрахунків мінімум 9 серій поточних даних. Тобто, практично, свіжі дані від метеостанцій повинні надходити і оброблятися щохвилини [6].

У свою чергу, ЗРП постають як динамічні системи, що розвиваються у часі і просторі, стан яких визначається сукупністю різних гірничо-геологічних і технологічних факторів, що характеризують умови виробництва. Однак, врахувати всі чинники при визначенні електроспоживання тим чи іншим окремим механізмом неможливо, так як майже кожен з них рідко залишається режимно постійним навіть протягом нетривалого часу, а окремі фактори непередбачувано впливають на цей процес.

В результаті аналізу можливості впровадження ВДЕ у складі локальних енергетичних систем (ЛЕС) було виявлено, що ЛЕС на базі ВДЕ, впливають на розподільні мережі в ЛЕС та перетворюють їх на активні елементи. Це призводить до необхідності внесення змін у прийнятті стратегії управління ЛЕС та планування структури і режимів локальних енергетичних систем. При цьому їхній вплив може мати як позитивний, так і негативний характер, тому доцільно заздалегідь ґрунтовно досліджувати та аналізувати питання приєднання ВДЕ до ЛЕС в залежності від умов експлуатації та особливостей технологічного процесу електроприймачів ЗРП [6].

До складу запропонованої системи електропостачання входить наступне устаткування: вітрові мініелектростанції (ВМЕС), батарея акумуляторів, що служить для накопичення електроенергії при роботі ВДЕ для живлення системи її управління (або, за необхідності, як резервне джерело живлення); перетворювальна апаратура, у випадку використання генератора змінної напруги, що служить для перетворення електроенергії від ВДЕ у постійний струм для живлення інвертора й заряду акумуляторних батарей і постійного струму від акумуляторів напруги змінного струму зі стандартними параметрами (рис. 1).

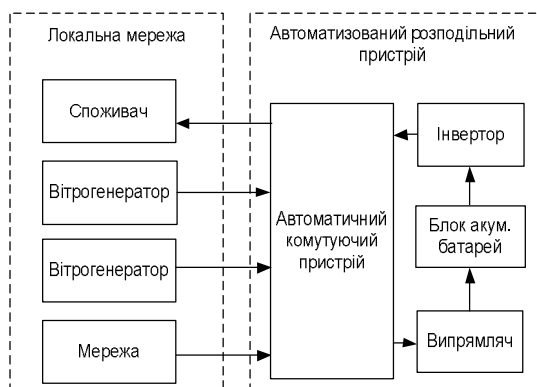


Рис. 1. Структурна схема системи локального електропостачання на базі відновлювальних джерел електроенергії

Таким чином спожита підприємством потужність за умови використання ЛЕС на базі ВДЕ в системі електропостачання дорівнює:

$$S_{П} = S_{ПС} + \left(\sum_{i=1}^n S_{ВЕС} + \sum_{i=1}^n S_{СЕС} + \sum_{i=1}^n S_{ГЕС} \right), \quad (1)$$

де $S_{ПС}$ – спожита електрична енергія промислового підприємства з енергосистеми, $S_{ВЕС}$ – згенерована потужність ВЕС; $S_{СЕС}$ – згенерована потужність СЕС; $S_{ГЕС}$ – згенерована потужність ГЕС.

З огляду на той факт, що система електропостачання комбінована – це ускладнює процес прогнозування електроспоживання, оскільки із загальної спожитої електричної енергії необхідно віднімати згенеровану ЕЕ ЛЕС. Аналізуючи графіки прогнозу генерації електричної енергії вітроенергетичної установки в умовах залізорудної підприємства та електроспоживання цих підприємств, можна зробити висновок про те, що реалізація короткострокового і оперативного (добового) прогнозування значно ускладнюється (рис. 2, 3).

До теперішнього часу розроблено велику кількість методів прогнозування електроспоживання, проте не існує універсального методу, який міг би з однаковим успіхом застосовуватися для різних типів об'єктів. Це викликано тим, що будь-який об'єкт прогнозування, чи то регіональна енергосистема або конкретне промислове підприємство, має унікальний характер електроспоживання і складні залежності між електроспоживанням і факторами, що на нього впливають. У зв'язку з цим виникає завдання вибору методики прогнозування електроспоживання, що володіє задовільною якістю прогнозу [15].

Сезонна модель авторегресійного проінтегрованого змінного середнього (АРПЗС) (ARIMA) дозволяє прогнозувати нестационарні циклічні тимчасові ряди [5-7].

Результат прогнозування електроспоживання на добу цеху ЗРП зображено на рис. 2.

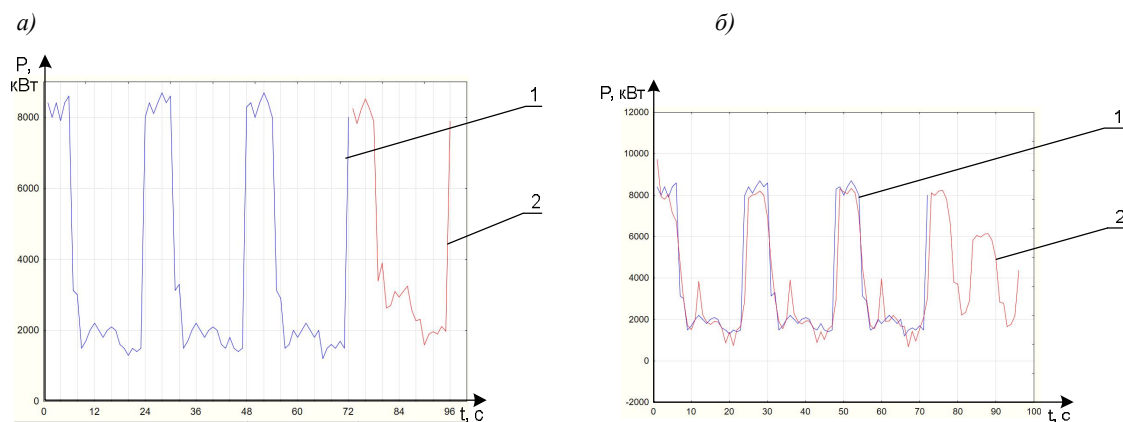


Рис. 2. Погодинний прогноз електроспоживання на добу цеху залізорудного підприємства: а – за методом АРПЗС, б – за методом експоненціального згладжування (1 – факт, 2 – прогноз)

Між тим, метод експоненціального згладжування найбільш ефективний при розробці середньострокових прогнозів. Він прийнятний при прогнозуванні тільки на один період вперед. Його основні переваги простота процедури обчислень і можливість обліку ваги вихідної інформації. Робоча формула методу експоненціального згладжування:

$$S_t = a \cdot \gamma_t + (1 - a) \cdot S_{t+1}, \quad (2)$$

де t – період, що передуює прогнозу; $t+1$ – прогнозний період; S_{t+1} – прогнозований показник; a – параметр згладжування; γ_t – фактичне значення досліджуваного показника за період, що передуює прогнозу; S_t – експоненціально зважена середня для періоду, що передуює прогнозу.

З поміж інших, прогноз за допомогою штучних нейронних мереж, з математичної точки зору є найбільш функціональним.

Вхідний шар нейронів слугує для введення значень вхідних змінних, вихідний шар – для виведення результатів.

Побудова даного прогнозу реалізована у пакеті «St Neural Networks» (рис. 3).

Отже, аналізуючи дослідження різних методів прогнозування, було встановлено, що методи відрізняються швидкістю обчислень, похибкою отриманого прогнозу, кількістю необхідних даних для точного прогнозування та ін.

У той же час, все ж перевагу слід віддавати штучним нейронним мережам, так як головними їх перевагами є те, що вони можуть апроксимувати будь-яку нелінійну функцію з відповідним ступенем точності, мають здатність до адаптації, створення асоціативних зв'язків і навчання. Також вони застосовуються при короткостроковому і довгостроковому прогнозуванні.

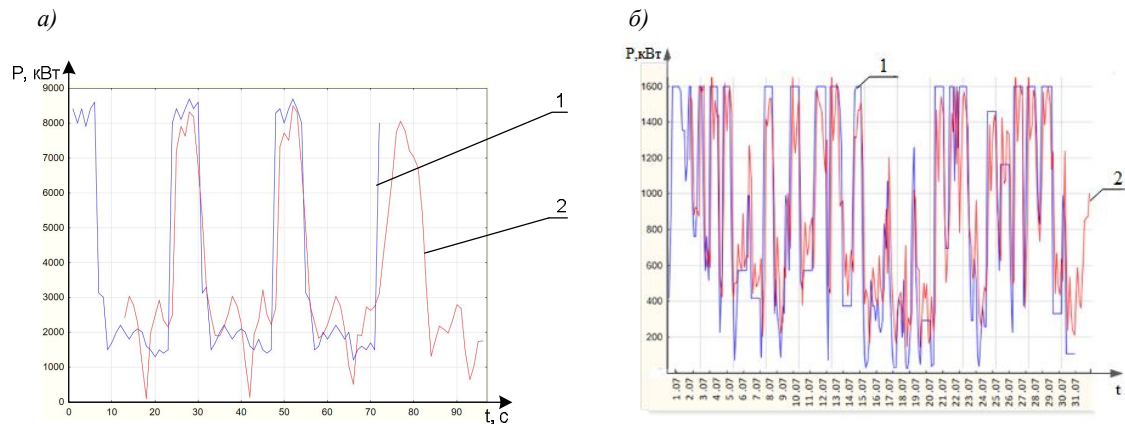


Рис. 3. Графіки прогнозу електропостачання та електроспоживання в умовах залізорудного підприємства з використанням штучних нейронних мереж: *а* – почогодинний прогноз електроспоживання на добу цеху залізорудного підприємства, *б* – прогноз генерації електричної енергії вітроенергетичної станції (1 – факт, 2 – прогноз)

Висновки та напрямок подальших досліджень. В умовах залізорудних підприємств актуальним та реально можливим напрямком підвищення електроенергоефективності видобутку ЗРС є впровадження в загальну структуру систем електроживлення локальних систем на базі відновлюваних джерел енергії.

Для прогнозування рівнів електроенергоспоживання приймачами залізорудних підприємств при впровадженні в існуючі структури систем електропостачання відновлюваних джерел енергії необхідно вирішити багатокритеріальну задачу з використанням методу штучних нейронних мереж.

Запропоновано тактику оцінювання існуючих та очікуваних рівнів споживання ЕЕ приймачами залізорудних підприємств з підземним способом видобутку ЗРС з подальшим втіленням цього процесу в структуру керування процесом електроспоживання. Це дозволить підприємствам збільшити енергоефективність та зменшити витрати на споживану ЕЕ.

Список літератури

1. Шидловський А.К. Геоелектроенергетика України / Шидловський А.К., Півняк Г.Г., Рогоза М.В., Випанасенко С.І. Навчальний посібник. – Д.: Національний гірничий університет. 2002. – 282 с.
2. Дослідження техніко-економічних показників гірничодобувних підприємств України та ефективності їх роботи в умовах змінної кон'юнктури світового ринку залізорудної сировини: Монографія / Є.К. Бабець, І.С. Мельникова, С.Я. Гребенюк, С.П. Лобов; за ред. Є.К. Бабця; НДГРІ ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг: Вид. Р.А. Козлов, 2015. – 391 с.
3. Aspects of the problem of applying distributed energy in iron ore enterprises' electricity supply systems. Multi-authored monograph / O.M. Sinchuk, S.M. Boiko, I.O. Sinchuk, F.I. Karamanyts, I.A. Kozakevych, M.L. Baranovska, O.M. Yalova; Edited by DSc., Prof. O.M. Sinchuk. – Warsaw: iScience Sp. z o. o. – 2018. – 77 p.
4. Sinchuk, O., Sinchuk, I., Boiko, S. Control system power consumption of the mining enterprises with the purpose of increasing electroenergoinvest Technical Electrodynamics 2016, № 6, P. 60–62.
5. Системи електропостачання з джерелами розподіленої генерації: Монографія / А.Ф. Жаркин, С.П. Денисюк, В.А. Попов; за ред. С.Е. Ноткиной; Інститут електродинамики НАН України. – Київ: Вид. Нова думка, 2017. – 231 с.
6. Відновлювані джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання залізорудних підприємств. (Аналіз, перспективи, проекти): Монографія / Сінчук О.М., Сінчук І.О., Бойко С.М., Караманиць Ф. І., Ялова О.М., Пархоменко Р.О; Кривий Ріг: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017. 152 с.
7. S. Tabatabaee. Investigation of droop characteristics and X/R ratio on small-signal stability of autonomous microgrid / H.R. Karshenas, A. Bakhshai // Proc. 2nd Power Electron., Drive Syst. Technol. Conf. 2011. P. 223–228.
8. Shumilova G.P., Gotman N.E., Startceva T.B. Electrical load forecasting using an artificial intelligent methods // RNSPE, 10-14 September, 2001, Proceedings. Kazan: Kazan State Power Eng. University, 2001. Vol. I. P. 440-442.
9. Baumann T., Germond A. Application of the Kohonen Network to Short-Term Load Forecasting. IEEE 0-7803-1217-1. 1993. P.407-412.
10. Carpenter G., Grossberg S. A Massively Parallel Architecture for a Self-Organizing Neural Pattern Recognition Machine // Computer Vision, Graphics and Image Processing. 1987. Vol.37.
11. Chen S.T., David C.Y., Moghaddamjo A.R. Weather sensitive short-term load forecasting using non fully connected artificial neural network // IEEE Trans. on Power Systems. 1992. Vol. 7, No 3. P. 1098 – 1105.
12. European Smart Grids Technology Platform: vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. – European Commission, 2006. – 44 p.

13. **Barker P.P.** Determining the impact of distributed generation on power systems: Part 1. Radial distribution systems / P.P. Barker, R.W. de Mello // IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Conference Proceedings. – 2000. – Vol. 3. – P. 1645–1656.

14. **Vovos P.N.** Centralized and distributed voltage control: impact on distributed generation penetration / P.N. Vovos, A.E. Kiprakis, A.R. Wallace, G.P. Harrison // IEEE Transactions on Power Systems. – 2007. – Vol. 22, N 1. – P. 476–493.

15. **Кузнєцов М.П.** Методи прогнозування виробітку електроенергії вітровими електростанціями / М.П. Кузнєцов // Відновлювана енергетика. – 2010. – № 3. – С. 42–48.

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 622.271

В.В. ПЕРЕГУДОВ, д-р техн. наук, проф., директор,

І.Є. ГРИГОР'ЄВ, канд. техн. наук, заст. директора, ДП «ДП «Кривбаспроект»

Ю.І. ГРИГОР'ЄВ, канд. техн. наук, асистент, Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОГЕННИХ РОДОВИЩ НАСИПНОГО ТИПУ

Мета. Стан відкритих гірничих робіт, що склався на вітчизняних підприємствах, а також кон'юнктура на ринку мінеральної сировини вимагають пошуку нових, економічно доцільніших підходів до ведення відкритих гірничих робіт. Таким підходом є комплексне освоєння надр, що сприяє покращенню техніко-економічних показників роботи гірничо-видобувних підприємств. Цілеспрямоване формування техногенних родовищ із необхідними параметрами і подальше їх відпрацювання є одним з основних напрямів комплексного освоєння, а визначення цих параметрів і дослідження їх взаємозв'язків є науковою задачею даної публікації.

Методи. В роботі було використано методи патентного пошуку, аналізу літературних джерел для вивчення технології формування і відпрацювання техногенного родовища, регресійного аналізу і математичного моделювання головних параметрів техногенного родовища.

Наукова новизна. В роботі досліджено залежності оптимальних значень місткості та виробничої потужності техногенного родовища, що забезпечують найкращі техніко-економічні показники формування та відпрацювання техногенного родовища. Доведено, що питома собівартість формування та відпрацювання техногенного родовища знаходяться у прямій залежності від його місткості і зворотній – від виробничої потужності. Виявлено, що місткість техногенного родовища має більший вплив на питому собівартість формування та відпрацювання техногенного родовища, ніж його виробнича потужність. Виконано математичне моделювання головних параметрів техногенного родовища.

Практична значимість. Отримані результати досліджень головних параметрів техногенних родовищ можуть бути використані проектними організаціями і гірничодобувними підприємствами при проектуванні. Математичні залежності дозволять більш ґрунтовно визначати головні параметри техногенних родовищ і підвищать точність технічних рішень проектних інститутів.

Ключові слова: техногенне родовище, собівартість формування і відпрацювання техногенного родовища, місткість техногенного родовища, виробнича потужність техногенного родовища, математична модель, регресійний аналіз.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-29-34

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. В результаті діяльності гірничодобувної та гірничо-переробної промисловостей на поверхні планети накопичилися мільярди кубічних метрів відходів виробництва у вигляді розкритих порід, шлаків, шлаків, золи тощо, які усилують екологічне навантаження, а тому проблема їх утилізації має світове значення. При цьому, Україна має потужну гірничорудну промисловість і займає сьоме місце у світі за обсягами виробництва мінеральної сировини, тому проблема утилізації відходів для неї має першорядне значення. З українських надр щорічно видобувається більше 2 млрд. т гірської маси, 60-70% якої складається у відвали. Однак, рівень використання відходів виробництва сягає лише 12-15%, в той час як в передових країнах світу він досягає 80%. Тенденція використання вторинних ресурсів спостерігається в США, Японії, Канаді, Великобританії, Франції, Німеччині, ПАР та інших індустріально розвинутих країнах.

Для умов Криворізького залізорудного басейну, який є одним з найбільших гірничодобувних регіонів світу, питання комплексного освоєння родовищ й залучення у вторинну переробку відходів гірничого виробництва набуває все більшої значущості. За різними оцінками, у відва-

лах та хвостосховищах Криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатів міститься до 13 млрд. т розкривних порід та до 6 млрд. т відходів збагачення бідних залізних руд, в той же час щорічний економічний збиток від забруднення навколишнього середовища оцінюється в 300 млн. доларів. Тому можна впевнено стверджувати про наявну суттєву сировинну базу вторинних мінеральних ресурсів [1, 2].

В той же час перспектива розвитку гірничого виробництва характеризується зростанням обсягів видобутку корисних копалин при постійному зниженні їх якості та ускладненні умов експлуатації природних родовищ. Отже, в майбутньому у розробку будуть залучатися родовища з рудами низької якості, зіставні з рудами техногенних родовищ. Тому, безперечно, накопичені відходи гірничого виробництва, що можуть являти собою техногенні родовища, з плином часу перетворюються на один з важливих джерел мінеральної сировини.

Проте в результаті безсистемного складування мінеральної сировини значно підвищуються витрати на наступну розробку цих мінеральних об'єктів, оскільки збільшується обсяг робіт по переєкскарвації гірничої маси для виймання порід необхідного типу. В більшості випадків відпрацювання мінеральних об'єктів, сформованих таким чином, пов'язане із великими кількісними і якісними втратами, а тому в більшості випадків їх експлуатація стає економічно недоцільною.

Зважаючи на це, питання розробки технології формування і відпрацювання техногенного родовища з оптимальними параметрами, які б забезпечували максимальну ефективність його освоєння зберігає свою актуальність і потребує подальших досліджень.

З урахуванням зовнішніх і внутрішніх факторів в роботах [1-3] авторами пропонувались різні технології формування і відпрацювання техногенних родовищ, кожна з яких характеризується різними перевагами і недоліками. В той же час техніко-економічні показники розробки техногенного родовища в значній мірі будуть залежати від головних параметрів техногенного родовища. Першою складністю в цьому аспекті є відсутність єдиного підходу до переліку основних головних параметрів техногенного родовища.

По-друге, раціональні значення головних параметрів техногенного родовища будуть визначатися комбінацією ряду факторів: вартості землевідведення, способу формування техногенного родовища, застосовуваного обладнання, системи розробки і фізико-механічних властивостей техногенної сировини.

Аналіз досліджень і публікацій. В роботах [3-6] досліджено питання комплексного освоєння техногенних родовищ, закладені основні терміни і поняття, запропоновано способи формування техногенних родовищ. Виявлено, ряд схем селективного складування тимчасово некондиційних корисних копалин [6]. Окрім того, були виявлені методичні принципи цілеспрямованого формування техногенних родовищ із заданими параметрами [7], що можуть бути зведені до наступних положень:

незалежне складування та відпрацювання тимчасово некондиційних руд і побіжних корисних копалин в просторі і часі (у відповідності до режиму гірничих робіт в кар'єрі і ринкової кон'юнктури);

мінімальні площі відчужених земель;

мінімальні обсяги об'ємів переєкскарвації при розробці техногенного родовища та зменшення кількісних і якісних втрат мінеральної сировини;

мінімальні відстані транспортування тимчасово некондиційних руд та побіжних корисних копалин при складуванні і відпрацюванні техногенного родовища.

Однак перелічені технології селективного складування передбачають розкриття родовища після його відсіпки шляхом проходки відкритих траншей. Принципово відрізняється від описаних вище схем, але відповідає зазначеним принципам, технологія формування техногенних родовищ із закладенням системи тунелів і рудоспусків, описана у роботах [8]. Описана технологія передбачає розкриття техногенного родовища, як об'єкту розробки, ще на етапі формування. Тобто під час відсіпки техногенного родовища забезпечується вантажотransпортний зв'язок кожного ярусу із поверхнею підшви техногенного родовища шляхом закладки кріплення горизонтальних і вертикальних виробок. Розроблена технологія дозволяє зменшити витрати на розробку техногенного родовища і підвищити повноту виїмки корисної копалини за рахунок спрощення доступу виймального обладнання до корисної копалини. Незважаючи на це, дана технологія має ряд недоліків:

1. Формування і відпрацювання техногенного родовища за даним способом передбачає суттєві капітальні витрати на етапі будівництва. При цьому 17 % з них складають витрати на закладення системи кріплення, що пояснюється складністю монтажних робіт і високою вартістю застосовуваних матеріалів.

2. Кріплення, що знаходяться в товщі техногенного родовища, особливо горизонтальні тунелі, вимагають періодичного метрологічного контролю, адже вони знаходяться у постійно напруженому стані.

3. Закладення системи вертикальних кріплення передбачає лише бульдозерний периферійний спосіб відвалоутворення. Для нього характерний практично рівномірний розподіл негабариту по товщі техногенного родовища. З цього випливає наступний недолік.

4. За даної технологічної схеми із розміщенням вібраційних живильників внизу вертикальних виробок є вірогідність забутки негабаритом. Тому пропонується технологічна схема вимагає рівномірного гранулометричного складу без негабариту.

Технологія, пропонується у [9], позбавлена даних недоліків. Відповідно до неї, формування техногенного родовища виконується за відомими технологіями складування, а види корисних копалин можуть бути розділені в плані і по висоті. Після виходу певного борту техногенного родовища на проектний контур або повної відсипки техногенного родовища на ньому може формуватися рудоскат у вигляді відкритого жолобу. В залежності від проектної потужності, розмірів техногенного родовища і куту нахилу борту, відкритий рудоскат може бути мобільним чи стаціонарним. Стаціонарний рудоскат розміщується у похилій траншеї. Мобільний рудоскат монтується на опорах, що встановлюються по борту техногенного родовища. Для зменшення кута нахилу відкритого рудоскату його поверхня може бути футерована сталлю чи іншими матеріалами. В нижній частині рудоскату розміщується бункер-перевантажувач, обладнаний вібраційним живильником. Спосіб відпрацювання техногенного родовища полягає у виїмці колісним навантажувачем із забою необхідного сорту корисної копалини та доставці її до акумулюючої ємності біля устя рудоскату. Звідти техногенна сировина по відкритому рудоскату під дією гравітаційних сил доставляється до вібраційного живильника та перепускається в засоби залізничного чи конвеєрного транспорту, розміщеному по горизонту денної поверхні.

Постановка задачі. Однак розробка техногенних родовищ насипного типу стримується низькими економічними показниками їх відпрацювання та подальшої переробки, а також організаційними складнощами формування техногенного родовища. виправити цю ситуацію можна не лише шляхом розробки ефективних технологій відпрацювання техногенних родовищ, а й детальним дослідження головних параметрів техногенних родовищ з подальшою оптимізацією їх значень.

Викладення матеріалу і результати. До основних параметрів техногенного родовища можна віднести розміри основи, кількість ярусів, кут укосу борта, місткість та виробничу потужність техногенного родовища. При цьому кут укосу борта залежатиме від фізико-механічних властивостей порід, кількість ярусів – від куту укосу і розмірів основи техногенного родовища. Місткість і виробничу потужність техногенного родовища також мають знаходитися у певній взаємній залежності.

Критерієм оцінки ефективності формування та відпрацювання досліджуваних техногенних родовищ був прийнятий мінімум питомих витрат на формування та відпрацювання техногенного родовища. виявлено, що місткість техногенного родовища впливає на питому собівартість його формування та відпрацювання. Так зі збільшенням обсягу техногенного родовища питомі витрати на його відпрацювання зменшуються, в той час як питомі витрати на формування техногенного родовища зростають. Це пояснюється зростанням відстані транспортування розкритих порід в період відвалоутворення, яка залежить від кількості ярусів у техногенному родовищі (рис. 1).

Окрім того, було виявлено, що на собівартість формування та відпрацювання техногенного родовища також впливає дальність транспортування сухої мінеральної сировини по техногенному родовищу. Це пояснюється тим, що зі збільшенням довжини основи техногенного родовища збільшується дальність транспортування техногенної сировини до відкритого рудоскату та відповідно зменшується річна експлуатаційна продуктивність пневмоколісного навантажувача. При цьому відстань транспортування техногенної сировини по техногенному родовищу розраховується як середньозважена відстань від рудоскату до раціональної межі відстані тран-

спортування пневмоколiсним навантажувачем у 500 м. Це говорить про необхідність вибору раціонального комплексу механiзацiї для вiдпрацювання техногенного родовища. В свою чергу вартiсть комплексу безпосередньо впливатиме на собiвартiсть формування та вiдпрацювання техногенного родовища в цiлому.

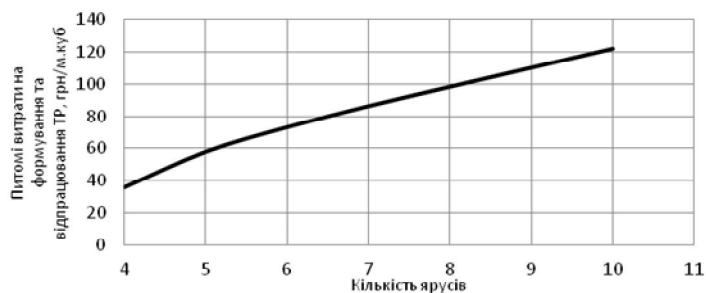


Рис. 1. Графік залежності питомих витрат на формування і вiдпрацювання техногенного родовища від кількості ярусів

В процесі дослідження було виявлено одночасний вплив мiсткості техногенного родовища і виробничої потужності при його вiдпрацюванні на собiвартiсть формування і вiдпрацювання техногенного родовища.

В той же час очевидно, що виробнича потужність техногенного родовища залежить від його мiсткості. Тому було прийнято рiшення дослідити сукупний вплив цих факторів на кiнцеву собiвартiсть. Для цього було розглянуто два випадки: при постiйній мiсткості техногенного родовища; при постiйній виробничій потужності. Слiд зазначити, що критерiєм вибору технологiчного комплексу був коефiцiєнт використання обладнання, який мав залишатися сталим для обох випадкiв, що забезпечує об'єктивнiсть зiставлення собiвартостей для обох випадкiв.

Для дослідження першого випадку було розглянуто техногенне родовище з квадратною формою основи мiсткiстю 16473456 м^3 . Зрозумiло, що при постiйній мiсткості техногенного родовища його виробнича потужність буде змiнюватись в залежності від термiну вiдпрацювання техногенного родовища. Для того, щоб забезпечити раціональне використання технологiчного обладнання (максимiзувати коефiцiєнт використання) в ході дослідження було пiдiбрано раціональний комплекс механiзацiї для вiдпрацювання техногенного родовища комплексом у складі пневмоколiсного навантажувача і вiбрацiйного живильника.

Встановлено, що при рiзній продуктивності техногенного родовища будуть змiнюватися капiтальнi та експлуатацiйнi витрати на його вiдпрацювання, а саме амортизацiйнi вiдрахування та витрати на поточний ремонт та утримання устаткування в залежності від моделей навантажувача і вiбрацiйного живильника. Результати дослідження були представлені у вигляді графiку (рис. 2), з якого видно, що зi збiльшенням термiну вiдпрацювання та, вiдповiдно, зменшенням продуктивності техногенного родовища питомі витрати на його формування та вiдпрацювання зростають.

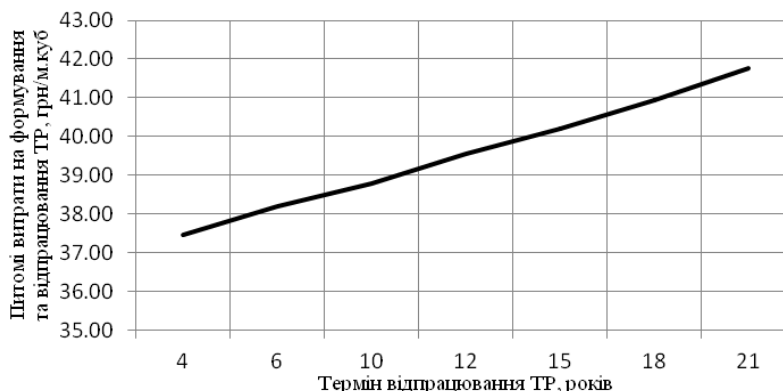


Рис. 2. Графік залежності питомих витрат на формування та вiдпрацювання техногенного родовища від його виробничої потужності при постiйній мiсткості

Для другого випадку було прийнято постiйну виробничу потужність для кожного з досліджуваних техногенних родовищ на рiвнi $18200000 \text{ м}^3/\text{рiк}$. Вiдповiдно при постiйній продуктивності техногенного родовища змiнюється термiн його вiдпрацювання в залежності від мiсткості. Виходячи з того, що виробнича потужність для кожного з досліджуваних техногенних родовищ постiйна при рiзній iх мiсткості, для iх вiдпрацювання було обрано такий комплекс техно-

логічного обладнання: один навантажувач САТ988К з продуктивністю 2862720 м³/рік та один вібраційний живильник ПЕВ 2А-4*15 з продуктивністю 2044800 м³/рік.

Встановлено, що на собівартість формування та відпрацювання техногенного родовища із заданою продуктивністю впливатимуть також експлуатаційні витрати на власне його відпрацювання, а саме витратні матеріали на відміну від описаного вище випадку. Отримані результати представлені у вигляді графіку (рис. 3), з якого видно, що зі збільшенням місткості техногенного родовища та відповідно терміну його відпрацювання питомі витрати на формування та відпрацювання техногенного родовища зростають.

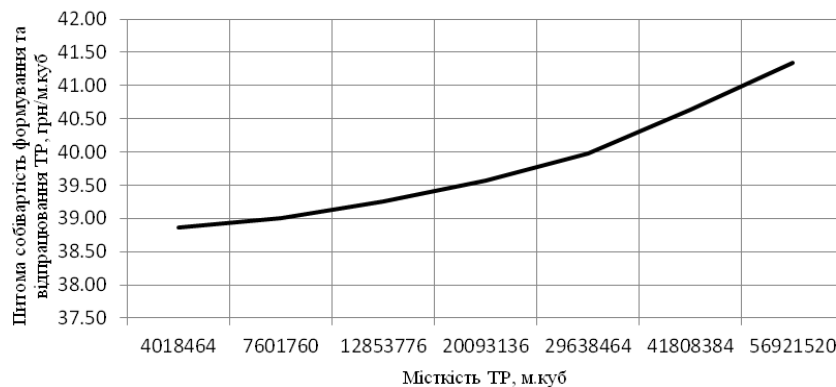


Рис. 3. Графік залежності питомих витрат на формування та відпрацювання техногенних родовищ з різною місткістю при його постійній виробничій потужності

Отримані результати дозволили скласти масив даних для постійних ємності і виробничої потужності техногенного родовища і дослідити сукупний вплив цих параметрів на собівартість формування та відпрацювання техногенного родовища.

Для цього було виконано регресійний аналіз методом найменших квадратів для функції з двома аргументами, переведено її до канонічного вигляду, додано систему обмежень, що використовувалась, і побудовано математичну модель згідно формули (1) та візуалізовано у вигляді тривимірного графіку (рис. 4)

$$C_{TR}^{num} = 41,02 + 4,31 \times 10^{-8} \times V_{TR} - 1,13 \times 10^{-6} \times A_{TR} \longrightarrow \min ;$$

$$\begin{cases} V_{TR} = [4 \times 10^6; 57 \times 10^6] \\ A_{TR} = [0,78 \times 10^6; 4,12 \times 10^6] \end{cases} \quad (1)$$

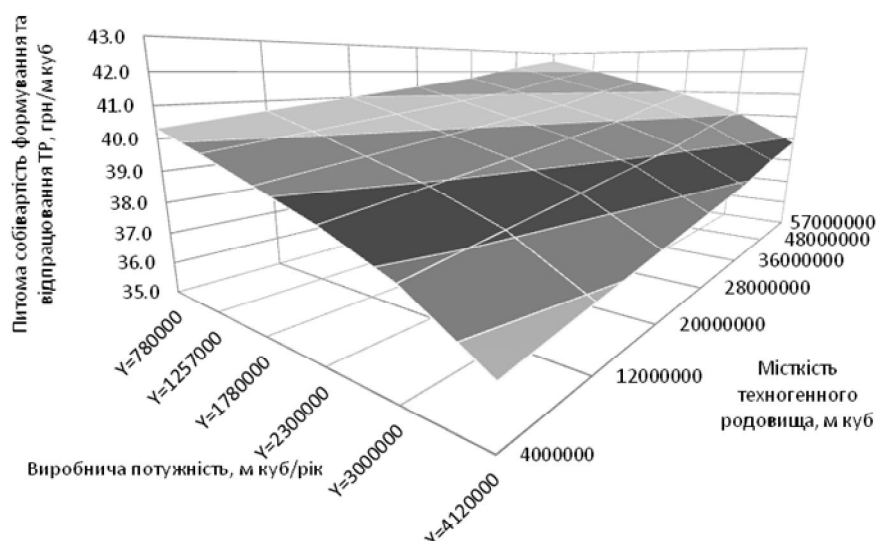


Рис. 4. Тривимірний графік взаємозалежності собівартості формування та відпрацювання техногенного родовища від його місткості та виробничої потужності

Отримана математична модель відображає зону залежності собівартості формування та відпрацювання техногенного родовища від його місткості та виробничої потужності враховуючи взаємозалежність останніх.

Висновки і напрями подальших досліджень. Таким чином, було визначено головні параметри техногенного родовища і встановлено взаємозв'язок між ними. Для розробленого в попередніх дослідження способу формування і відпрацювання техногенного родовища було встановлено вплив місткості і виробничої потужності на економічні показники гірничих робіт. Доведено, що питома собівартість формування та відпрацювання техногенного родовища знаходяться у прямій залежності від його місткості і зворотній – від виробничої потужності. В той же час виявлено, що місткість техногенного родовища має більший вплив на питому собівартість формування та відпрацювання техногенного родовища, ніж його виробнича потужність. Подальші наукові дослідження будуть направлені на детальне дослідження взаємозв'язків параметрів елементів системи розробки техногенного родовища для різних технологій його формування і відпрацювання.

Список літератури

1. Колесников Д.В., Короленко М.К., Ступник Н.И., Удод Е.Г., Протасов В.П., Олейник Т.А. Повышение извлечения железа за счёт переработки сырья техногенных месторождений Кривбасса. – Кривой Рог: Дионис, 2012. – 236 с.
2. Трубецкой К.Н., Уманец В.Н. Комплексное освоение техногенных месторождений // Горный журнал – вып. №1, - 1992, с 12-16.
3. Темченко А.Г. Ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. – - Кривий Ріг: «Мінерал», 2000. – 216 с.
4. Трубецкой К.Н., Шапарь А.Г. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии при открытой разработке месторождений. – М.: «Недра», 1993. – 272 с.
5. Пшеничный В.Г. Целесообразность строительства и разработки техногенных месторождений минерального сырья // Разработка рудных месторождений – вып. №92, - 2008, с 39-43.
6. Шапарь А. Г., Краснопольский И. А., Копач П. И. Ресурсосбережение в технологических процессах открытой разработки полезных ископаемых. – Киев: Наукова думка, 1992
7. Григор'єв Ю.І. Визначення основних методичних принципів ціленаправленого формування техногенних родовищ при комплексному освоєнні надр // Гірничий вісник – вип. 97, - 2014, с. 267–271.
8. Nikolay Pyzhik, Yulian Grigoryev. Dry raw material technogenic deposits formation and development technique // Metallurgical and Mining Industry – № 3, – 2015, p. 298–302.
9. Григор'єв І.Є. Визначення основних методичних принципів ціленаправленого формування техногенних родовищ при комплексному освоєнні надр / Григор'єв І.Є., Григор'єв Ю.І., Усачов В.Е., Євтушенко М.С. // Збірник наукових праць національного гірничого університету – вип. 56, - 2019, с. 18–28.
10. Трубецкой К.Н., Воробьёв А.Е. Основы ресурсовоспроизводящих технологий складирования и хранения некондиционного минерального сырья // Горный журнал – вып. №5, - 1995, с 47-51.
11. Григорьев И.Е., Григорьев Ю.И. Системный подход к процессу проектирования горных объектов // Разработка рудных месторождений – вып. №94, - 2011, с 40-44.

Рукопис подано до редакції 02.04.2019

УДК 666.76.001.2

В.Ю.ТИЩУК, д-р техн. наук, доц., І.Б.КОВАЛЬОВА, ст. викладач, М.Д.БОБРОВ, студент
Криворізький металургійний інститут Національної металургійної академії України
Т.А. КРИВЕНКО, викладач, Криворізький гірничий коледж
Криворізького національного університету

ЗАХИСТ ПОВІТРЯ ВІД ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ АМОНІАКУ В КОКСОХІМІЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Мета. Метою даної роботи є розробка ефективних засобів очистки коксових газів від амоніаку коксохімічних виробництв на основі використання існуючих та розроблених нових засобів уловлювання та нейтралізації амоніаку, який є сильно діючою отруйною речовиною, небезпечний при вдиханні і може приводити до ураження очей і дихальних шляхів, а при високих концентраціях до смертельного результату. Очищення косового газу від шкідливих газових компонентів відрізняється складністю процесу, яка полягає в наявності у його складі великої кількості хімічних інгредієнтів, що важко підлягають видаленню із загальної їх маси.

Методи досліджень. Аналіз раніше виконаних досліджень в галузі очищення коксових газів від амоніаку та інших шкідливих речовин. Аналітичні дослідження очищення газів на основі фундаментальних положень органічної, неорганічної хімії. Експериментальні дослідження по нейтралізації амоніаку у розробленій суспензії, що включає дисперсну систему з рідким дисперсійним середовищем та твердою диспергованою (дисперсною) фазою, на основі відходів вугільного виробництва, складовими яких є тверда фаза та органічна кислота.

Наукова новизна. Теоретично доведено механізм взаємодії складових суспензії відходів вугільного виробництва та амоніаку. Виведено формулу взаємодії амоніаку з органічною кислотою, що знаходиться в рідкому дисперсійному середовищі. Взаємодія амоніаку з органічною кислотою є особливим випадком його нейтралізації без виділення води. Згідно виведеної хімічної формули, в результаті реакції між органічною кислотою і амоніаком, утворюється сіль органічної кислоти.

Практична значимість. Отримано результати ефективності нейтралізації амоніаку в рідкому дисперсійному середовищі, що включає відходи вугільного виробництва на основі твердої фази та органічної кислоти. Встановлено, що максимальна ефективність нейтралізації амоніаку органічною кислотою при концентрації суспензії 4,0 мас.% становила 98,3 % і в подальшому при підвищенні концентрації суспензії не змінювалась. Встановлена пряма залежність ефективності очищення амоніаку від концентрації нейтралізуючої суспензії. При концентраціях суспензії нижчих 4 мас.% ефективність нейтралізації амоніаку неухильно знижується.

Результати. Доведена перспектива використання природних органічних речовин на основі відходів вугільного виробництва для нейтралізації амоніаку в коксохімічному виробництві. В подальшому на основі розробленої суспензії необхідно провести широкі дослідження по видаленню з повітряного середовища фенолів, оксидів сірки та азоту, сірководню та інших шкідливих речовин.

Ключові слова. Коксохімічне виробництво, шкідливі гази, нейтралізація амоніаку, суспензія, сатуратор.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-34-39

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Коксохімічне виробництво – це базова галузь промисловості і є джерелом інтенсивного забруднення повітря робочих зон та оточуючого середовища коксовими газами, які містять в своєму складі ряд шкідливих газових компонентів [1-7].

При цьому у викидах в значній мірі присутній шкідливий газ амоніак, який забруднює повітря робочих зон та атмосферне повітря, що негативно впливає на людину в межах підприємств та на територіях житлових масивів. Це сильно діюча отруйна речовина (СДОР), суміш його парів з повітрям за певних концентрацій може бути вибухонебезпечною. При нормальних умовах 0°C і 1 МПа (1 кгс / см²) це газ, що не має кольору, з різким характерним запахом і їдким смаком, в 1,7 рази легший повітря (щільність 0,6017 кг/м³).

Амоніак – безбарвний газ, його можливо помітити при концентраціях в повітрі близько 0,04 г/м³. При вмісті в повітрі 1,5-1.7 г/м³ амоніак впродовж від півгодини до однієї години діє смертельно або викликає небезпечно для життя отруєння. У присутності кисню і водяної пари, особливо за наявності сірководню і синильної кислоти, амоніак надає сильну корозійну дію. Амоніак утворюється в процесі коксування з азоту і водню кам'яного вугілля. Велика частка азоту вугілля (до 60%) залишається в коксі у вигляді термічно стійких азотистих поєднань, а остання частка видаляється з вугілля разом з леткими продуктами коксування - газом, смолою і надсмольною водою.

Рідкий амоніак викликає сильні опіки шкіри, тому його зазвичай перевозять в сталевих балонах, що забарвлені в жовтий колір, та мають напис "Амоніак" чорного кольору. Суміш амоніаку з повітрям вибухонебезпечна. Амоніак горить при наявності постійного джерела вогню. Ємності можуть вибухати при нагріванні.

Газоподібний амоніак є токсичною сполукою. При його концентрації в повітрі робочої зони близько 350 мг/м³ і вище робота повинна бути припинена, а люди виведені за межі небезпечної зони. Гранично допустима концентрація амоніаку в повітрі робочої зони дорівнює 20 мг/м³.

Амоніак небезпечний при вдиханні. При гострому отруєнні амоніаком уражаються очі і дихальні шляхи, при високих концентраціях можливий смертельний результат. Викликає сильний кашель, задуха, при високій концентрації парів - збудження, марення. При контакті зі шкірою - пекучий біль, набряк, опік з бульбашками. При хронічних отруєннях спостерігаються розлад травлення, катар верхніх дихальних шляхів, ослаблення слуху.

В зв'язку з цим розробка засобів очищення коксових газів від амоніаку в коксохімічній промисловості є актуальною науковою і технічною задачею, яка пов'язана з виконанням програм по покращенню стану атмосферного повітря, підвищенню якості життя населення, а також безпеки, гігієни праці і виробничого середовища.

Аналіз досліджень і публікацій. Вилучення амоніаку з коксового газу - обов'язкова технологічна операція при підготовці газу до його подальшого використання [1-3]. Норми допустимого вмісту амоніаку в газі: не більше 300 мг/м³, тобто повнота витягання амоніаку з газу повинна складати 99,7–99,8 % мас. Такі вимоги визначаються чисто технологічними причинами: необхідність видалення компонента, який призводить до корозії газопроводів та обладнання; для попередження виникнення відкладань в газопровідних комунікаціях і регулюючих пристроях коксових батарей; для нормальної експлуатації бензольно-скрубєрних відділень і цехів сіркоочистки; амоніак з ціаністим воднем, що знаходиться в газі, різко посилює корозію устаткування.

Крім того вирішується проблема захисту повітря робочих зон і атмосферного повітря від амоніаку.

На теперішній час традиційним способом очищення коксового газу від амоніаку на вітчизняних коксохімічних підприємствах є застосування сірчаної кислоти з отриманням сульфату амонію сатураторним або безсатураторним способом. Сульфат амонію виробляється на коксохімічних заводах у великих кількостях. На 1 т сухої шихти виробництво сульфату амонію (сухого) складає 11,0-11,5 кг.

Проте, даний метод не відповідає новітнім вимогам виробництва як з точки зору кон'юктури ринку сірчаної кислоти та сульфату амонію, так і технологічному рівню.

Постановка завдання. Аналітично визначити ефективний спосіб уловлювання амоніаку, що утворюється при коксуванні вугілля. Розробити засіб уловлювання амоніаку і експериментально визначити його ефективність в уловлюванні амоніаку.

Викладення матеріалу та результати. Альтернативним способом уловлювання амоніаку є перспективний круговий фосфатний метод, який використовується в коксохімії [1-3]. Даний метод заснований на уловлюванні амоніаку з коксового газу за допомогою фосфатів амонію у абсорційно-десорбційному круговому процесі. За цією технологією амоніак уловлюється з газу з утворенням відповідних фосфатів, а потім у ході термічного гідролізу фосфатів виділяється амоніак і, відповідно, регенерується абсорбуючий розчин. В процесі замість сірчаної кислоти використовується більш економічна ортофосфатна, яка знаходиться у замкнутому циклі і використовується багатократно.

Відповідно витрати на придбання ортофосфатної кислоти для поповнення циклу значно нижчі за придбання сірчаної. Використовується кислота ортофосфатна – термічна.

Процес очищення коксового газу умовно можна розділити на такі стадії:

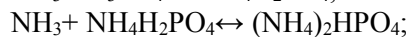
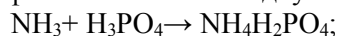
доочищення коксового газу від кам'яновугільної смоли;

абсорбція амоніаку;

очищення абсорбційного розчину ортофосфатів амонію від кам'яновугільної смоли (методом відстоювання);

десорбція амоніаку з розчинів ортофосфатів амонію водяним паром.

Уловлюванні амоніаку ортофосфатною кислотою відбувається за відомою схемою:



Отримання амонію фосфату не практикується, оскільки ця сіль в розчині повністю гідролізована та характеризується мінімальною розчинністю у порівнянні з амонію дигідрофосфатом та амонію гідрофосфатом.

Технологія що передбачає круговий процес, характеризується тим що газ транспортується до абсорбера по газопроводу і далі у двохсекційному тарільчастому абсорбері відбувається селективна абсорбція амоніаку з газу розчином амонію дигідрофосфату при температурі 40-50°C шляхом контакту з абсорбуючим розчином.

Природа селективного уловлювання амоніаку амонію дигідрофосфатом характеризується тим, що фосфорна кислота навіть по другому ступеню дисоціації виявляється кислотою більш сильною ніж вугільна і сульфідна. Утворений після абсорбції розчин амонію гідрофосфату стікає в відстійник, в якому з нього методом відстоювання видаляється уловлена з газу кам'яновугільна смола.

Таким чином циркулюючи через нижню частино абсорбера коксовий газ додатково обробляється розчином амонію гідрофосфату. У цей же відстійник додається свіжа фосфорна кис-

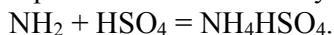
лота для поповнення циклу. Надалі розчин поступає у десорбер на регенерацію, де при температурі не менше 140 °С відбувається зворотна реакція і розчин амонію дигідрофосфату гідролізується на дигідрофосфат амонію і амоніак, утворюючи пароаміачну суміш.

Розчин з десорбера знову поступає в абсорбер амоніаку, при цьому він повинен бути охолодженим до температури 35-40°С. Розчин амонію дигідрофосфату повертається на верхню частину абсорбера. Надалі очищений від амоніаку коксовий газ прямує у цикл кінцевих газових холодильників скрубєрного відділення. При цьому після регенератора дана парогазова суміш може досягати вмісту амоніаку у 25%, і якщо позбутися кислих домішок у суміші шляхом її пропускання через барботаажний абсорбер кислих газів (заповнений розчином карбонату, сульфіді, ціанату натрію), то отримуємо водний технічний амоніак з допустимими кислими домішками.

Роботи абсорбера амоніаку заснована на принципі протитоку газу, який подається в абсорбер на нижню тарілку, тоді як у верхній частині колони відбувається зрошення коксового газу розчином амонію дигідрофосфатом. Щоб забезпечити безперебійну роботу агрегату, необхідно виключити забруднення кам'яновугільною смолою розчинів ортофосфатів амонію.

Вихід цих продуктів при коксуванні залежить від вмісту азоту у вугіллі, ступені метаморфізму і вологості останніх, від температури і швидкості коксування, а також від температури підсклепінного простору коксових камер і часу перебування в ньому летких продуктів коксування. Утворення амоніаку при коксуванні вугілля починається при температурі біля 600°С, а максимальний вихід його досягається при температурах 800-900°С.

У коксохімічній промисловості найбільшого поширення набув напівпрямий спосіб отримання сульфату амонію з використанням сатураторів барботаажного типу, а може використовуватися без сатураторний метод [8]. Суть процесу полягає в тому, що після нагнітача коксовий газ, що містить газоподібний аміак поступає в сатуратора по трубі, що закінчується барботаажним зонтом. Зонт занурений в матковий розчин, що містить сірчану кислоту. При проходженні газу через матковий розчин амоніак вступає в реакцію взаємодії з сірчаною кислотою і утворює з нею кінцевий продукт - сульфат амонію. Процес нейтралізації амоніаку сірчаною кислотою протікає в два ступені: спочатку утворюється кисла сіль бісульфат амонію по рівнянню



У міру насичення розчину амоніаком кисла сіль переходить в середню, тобто сульфат амонію

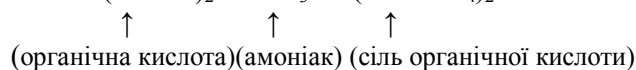


Ці реакції протікають з виділенням тепла, кількість якого залежить від умов ведення процесу.

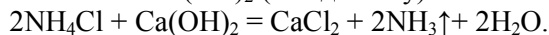
Теплота утворення сульфату амонію з газоподібного амоніаку і 100%-ою сірчаної кислоти рівна 274 кДж/моль сульфату амонію. При використанні 92%-ої кислоти кількість тепла, що виділяється, зменшується до 220 кДж/моль, тобто на величину, відповідну теплоті розбавлення кислоти від 100% до 92%-ої концентрації. На 1 кг сульфату амонію виділяється 1173,20 кДж, що є основним джерелом тепла в сатураторові і грає величезну роль для досягнення теплової рівноваги у ванні сатуратора, визначає його водний баланс, впливає на температуру ванни, ступінь уловлювання амоніаку і піридинових основ з газу і кристалізацію солі сульфату амонію. Може використовуватися також безсатураторний спосіб отримання сульфату амонію [9].

Для здешевлення процесу уловлювання амоніаку в даній роботі розроблено і досліджено новий засіб на основі вугільної суспензії, що включає відходи вугільного виробництва на основі твердої фази та органічної кислоти. Взаємодія амоніаку з органічною кислотою є особливим випадком його нейтралізації без виділення води.

Авторами виведено реакцію за якою відбувається уловлювання амоніаку органічною кислотою, що має наступний вигляд



Експериментальні дослідження проводили за наступною методикою. У лабораторних умовах амоніак добували нагріванням суміші солей амонію з лугами. Для цього використовувався хлорид амонію NH_4Cl і гашене вапно $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (в надлишку)



Ці речовини ретельно перемішували, вміщали у колбу і нагрівали. Реакція з виділенням амоніаку проходить при звичайних умовах, а при нагріванні різко прискорюється. Добути амоніак можна також нагріваючи нашатирний спирт: $\text{NH}_4\text{OH} \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

Збирали амоніак у колбу розміщену вверх дном, оскільки він легший за повітря. Дослідження здатності суспензій нейтралізувати амоніак проводились на спеціальному стенді, який включав колбу із суспензією, об'ємом 1 дм³, камеру, наповнену газом, що досліджується, пусту камеру для прийому газу після нейтралізації; електричний аспіратор з витратоміром і систему з'єднувальних трубок. За допомогою електричного аспілятора відбувалося перекачування амоніаку з камери через досліджуваний розчин в пусту камеру. Швидкість пропускання газу складала 0,2 дм³/хв., об'єм пропущеного газу – 2 дм³, час пропускання – 10 хв. [10].

Після пропускання порції газу через розчин замірялась залишкова концентрація амоніаку. За різницею концентрацій газу до і після перепускання через розчин визначалась ефективність нейтралізації. Потім через розчин пропускала нову порцію газу, об'ємом 2 дм³, і знову визначалась кількість амоніаку, що була уловлена. В ході досліджень фіксувався момент досягнення межі насичення суспензії газом, який характеризувався тим, що поглинання газу суспензією більше не відбувалося, і його концентрація в суміші до і після перепускання через розчин не змінювалась. Концентрація амоніаку визначалась за допомогою газоаналізатора. Концентрація нейтралізуючих складових у водяній суспензії становила 0,1; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 мас.%. Результати досліджень показали, що найбільша ефективність очищення була при концентрації суспензії 4,0 мас.% і становила 98,3 % і в подальшому при підвищенні концентрації суспензії не змінювалась.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Теоретично доведено механізм взаємодії складових суспензії відходів вугільного виробництва, та амоніаку. Взаємодія амоніаку з органічною кислотою є особливим випадком нейтралізації без виділення води. Виведено формулу взаємодії амоніаку з органічною кислотою, що знаходиться в рідкому дисперсійному середовищі.

Отримано результати ефективності нейтралізації амоніаку в рідкому дисперсійному середовищі, що включає відходи вугільного виробництва на основі твердої фази та органічної кислоти. Встановлена пряма залежність ефективності очищення амоніаку від концентрації нейтралізуючої суспензії.

В подальшому на основі розробленої суспензії необхідно провести широкі дослідження по видаленню з повітряного середовища фенолів, оксидів сірки та азоту, сірководню та інших шкідливих речовин.

Список літератури

1. Харлампович Г.Д. Технология коксохимического производства/ Г.Д.Харлампович, А.А.Кауфман.- М.:Химия, 1995.- 384 с.
2. Лейбович Р. Е. Технология коксохимического производства/Р.Е. Лейбович, Е.И. Яковлева, А. Б. Филатов– М.: Металлургия, 1982. – 340 с.
3. Кауфман А. А. Отечественные и зарубежные коксовые печи: конструкции и оборудование:учеб. пособие/ А. А. Кауфман, Ю. Я. Филоненко. - Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2013. — 88 с.
4. Мищенко И.М. Черная металлургия и охрана окружающей среды: учеб. пособие/ И.М. Мищенко. – Донецк.: ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. –150 с.
5. Тищук В.Ю. Нейтралізація шкідливих газів у коксохімічному виробництві/ В.Ю.Тищук, І.Б.Ковальова, В.В.Бондаренко.// Збірник наукових праць Національного гірничого університету. - Дніпропетровськ, 2018,-№ 53.- С.290-295.
6. Тищук В.Ю. Вплив коксохімічних процесів на забруднення повітря робочих зон і розробка засобів його очищення і покращення умов праці/ В.Ю.Тищук// Збірник наукових праць Національного гірничого університету.- Дніпропетровськ, 2017,-№ 51.- С.226-233.
7. Тищук В.Ю. Способи пилоподавлення при підготовці вугілля до коксування/ В.Ю.Тищук, І.Б.Ковальова, // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. - Дніпропетровськ, 2018,-№ 52.- С.290-295
8. Гребенюк А.Ф. Улавливание химических продуктов коксования/А.Ф.Гребенюк, В.И.Коробчанский, Г.А.Власов, С.И.Кауфман.- Донецк: Восточный издательский дом, 2001.-228 с.
9. Лазорин Е.Я. Сульфат амония/ Е.Я.Лазорин, С.Н.Стеценко.-М.:Металлургия, 1973.-288 с.
10. Тищук В.Ю. Нейтралізація шкідливих газів при гасінні коксу розчинами/ В.Ю.Тищук// Збірник наукових праць Національного гірничого університету.- Дніпропетровськ, 2017,-№ 50.- С.338-343.

Рукопис подано до редакції 08.04.2019

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ БРИКЕТОВ ИЗ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Целью выполняемой работы является изучение и анализ известных способов брикетирования накопленных техногенных отходов и железорудных концентратов, определение глубины исследованности теоретических аспектов процесса брикетирования и поиск резервов совершенствования существующих технологий получения брикетов.

Для решения поставленных задач в работе использовались такие **методы** исследования, как метод теоретического анализа данных научных публикаций, патентной документации по исследуемой проблеме; метод синтеза и интеграции результатов анализа; метод интерпретации.

Научная новизна заключается в доказательстве целесообразности и определении направления дальнейшего развития теории и технологии брикетирования железорудного сырья.

Практическая значимость работы заключается в том, что результаты исследования могут быть использованы для достижения экономического эффекта от рециклинга накопленных техногенных отходов и окускования железорудных концентратов холодным способом, а также для повышения экологической безопасности промышленных регионов.

Результаты работы. Анализ работы отечественных и зарубежных предприятий горно-металлургического комплекса показал, что на сегодняшний день технология брикетирования успешно применяется для утилизации техногенных отходов и почти не применяется для окускования железорудных концентратов и мелкодисперсных руд. Поэтому доля сырья, окускованного этим методом, остается на уровне 2%.

Несмотря на то, что процесс брикетирования является наиболее ранним из способов окускования, он в большинстве направлений развивался и развивается эмпирически. Решение и сколь-нибудь теоретическое обоснование находили исключительно вопросы, поставленные производством, а развитию теоретических основ уделяется гораздо меньшее внимание.

Несмотря на богатый опыт использования технологии брикетирования, существует потенциал для дальнейшего ее совершенствования, а именно посредством направленного изменения свойств связующих компонентов, применения принципиально новых методов и устройств для распределения этих составляющих в объеме шихты, использование для упрочнения брикетов чистых от примесей энергоносителей, таких как электрический ток и другие. Углубленное изучение теории и технологии брикетирования обеспечит статус-кво и развитие её в промышленном масштабе.

Ключевые слова: брикетирование, брикет, металлургическое сырье, железосодержащие отходы, связующие компоненты, рециклинг

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-39-42

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. На текущий момент основной сырьевой базы металлургической промышленности являются мелкодисперсные руды и концентраты, которые представляют собой продукты глубокого обогащения, оборотные материалы, техногенные отходы, ранее не вовлекавшиеся в переработку. Необходимость использования данных материалов объясняется количественным содержанием в них ценных компонентов. Традиционные методы окускования сырья агломерацией и окатыванием во многом исчерпали свои резервы и возможности. Поэтому научные разработки, направленные на обеспечение металлургического производства первородной высококачественной шихтой, представляются весьма актуальными, а направление развития производства железосодержащих брикетов – перспективным.

Анализ исследований и публикаций. Традиционными методами окускования сырья для металлургических переделов являются агломерация и производство окатышей. Современные фабрики окускования используют отработанные технологии, оснащены надежным высокопроизводительным оборудованием и успешно выполняют задачу окускования железорудных материалов природного происхождения. Вместе с тем использование данных технологий при переработке тонкоизмельченных железосодержащих компонентов обнаруживает ряд особенностей, ограничивающих возможность их применения.

Агломерация мелкодисперсных отходов недостаточно эффективна, поскольку при увеличении доли тонких материалов в составе аглошихт снижается газопроницаемость слоя шихты на конвейерной машине, уменьшается ее производительность и сокращается выход годного агломерата.

Процесс производства окатышей затрудняется необходимостью соблюдения жестких требований по влажности и гранулометрическому составу шихты. Вследствие высокой чувствительности процесса к начальному влагосодержанию незначительное превышение предела в 9,5–10 % влаги приводит к переувлажнению окатышей в зоне сушки, разупрочнению гранул и последующему их термическому разрушению [1].

Наличие вышеперечисленных недостатков переработки отходов способами агломерации и производства окатышей обуславливает закономерный интерес к такому методу окускования, как брикетирование.

Брикетирование имеет ряд существенных преимуществ, которые позволяют считать его перспективным методом окускования [2]:

брикетирование предъявляет менее жесткие требования к качеству сырья, позволяет окусковывать сырьё широких классов крупностью 10,0–0,074 мм, а также более крупные или более тонкие фракции практически в любых соотношениях;

процесс технологически прост; некоторую трудность представляет лишь дозирование связующих и их смешивание с брикетируемым материалом;

сохраняются свойства компонентов, входящих в брикет;

брикетирование является экологически чистым способом окускования.

Эти преимущества позволяют эффективно решать такие актуальные задачи, как получение новых, комплексных видов сырья, включающих оксиды железа, восстановитель и флюс, внедрение новых способов обработки сырья, например, металлизацией, снижение вредного влияния металлургических процессов на окружающую среду.

Однако, несмотря на существенные преимущества перед остальными способами окускования, брикетирование в чёрной металлургии пока ещё не получило должного признания. Доля сырья, окускованного брикетированием, остаётся на уровне 2 % [3].

Постановка задачи. В связи с вышеизложенным, возникает необходимость изучения и анализа известных способов брикетирования накопленных техногенных отходов и железорудных концентратов, определение глубины исследованности теоретических аспектов процесса брикетирования и поиск резервов усовершенствования существующих технологий получения брикетов.

Изложение материала и результаты. Новый, современный этап повышения интереса к брикетированию связан с обострением экологических проблем, пришедшихся на последнюю треть XX века, а также ростом цен на энергоресурсы.

Холодное брикетирование отличается простотой технических и технологических решений, небольшой энергоёмкостью и экологической безопасностью, возможностью размещения малотоннажных производств в местах образования отходов. Вместе с тем необходимо отметить, что по сравнению с агломератом и окатышами брикеты холодного прессования имеют более высокую истираемость и низкую термостойкость, поскольку при повышенных температурах большинство связующих веществ разлагается, что приводит к разрушению куска и ухудшению газодинамики при плавке с использованием таких брикетов [4]. Тем не менее грамотный подбор состава брикетов и организация режима плавки позволяют увеличивать объёмы переработки брикетов в низкошахтных печах, доменных печах, кислородных конвертерах и электродуговых печах [5, 6].

Все более востребованным процесс брикетирования становится в области переработки промышленных отходов. Число использующих его предприятий, номенклатура и объёмы производства брикетов в последние годы неуклонно растут.

Современный опыт плавок брикетов в печах основных металлургических переделов располагает достаточным количеством положительных примеров, которые позволяют считать брикетирование надёжным и высокоэффективным методом окускования металлургического сырья.

По способу Ильсесдер-Хютте (Германия) колошниковую пыль в смеси с прокатной окальной и глинистым шламом промывки бурого железняка нагревают и прессуют при давлении 30 МПа. Упрочнение брикетов осуществляют в закрытом помещении до прочности 10 МПа [7].

Способ Гизенке позволяет брикетировать без связующих материалов глинистые мелкие руды, колошниковую пыль и огарки. Пластичность, необходимую для брикетирования, обеспечивали увлажнением и помолом компонентов шихты. Прессование производили в штемпель-

ных мундштучных прессах (сечение штампея 60×90 мм), а обжигали в шахтной печи изменённой конструкции производительностью до 40 т/сут. Высокий расход топлива (14 %) и низкая производительность привели к свёртыванию производства [8].

На заводе «Фор-сюр-Мэр» (Франция) свежую замасленную окалину (40 тыс. т в год) брикетируют в смеси с известью и добавляют 1 % брикетов размером ≥ 5 мм в конвертер. Также в виде брикетов переплавляют в дуговых сталеплавильных печах 160 тыс. т в год пыли, опилок, прокатной окалины, нержавеющей стали на заводе Южин Савой, периодически получая богатую цинком пыль которую передают на заводы цветной металлургии [9].

В Японии в связи с жёсткими экологическими требованиями брикетирование также получило широкое распространение. В частности, на заводе фирмы «Ниссенсэйко» из высушенного кека, сухой пыли и окалины с добавкой связующих на вальцовых прессах изготавливают брикеты, которые подсушивают до влажности 2 % и упрочняют в конвейерной сушилке при температуре 250 °С. Брикеты подают в электропечь с флюсом и коксом [10].

Из всего разнообразия технологий переработки и утилизации металлургических материалов подавляющее большинство не вышло за рамки лабораторных или опытно-промышленных установок. Поэтому особую ценность имеют технологии, которые подтвердили свою осуществимость и экономическую значимость на промышленном уровне. Одной из таких технологий является технология ОХУ Сур, разработанная фирмой «ThyssenKruppStahl» в Дуйсбурге (Германия) [11].

Научно-производственная фирма «ЭкоМашГео» (Россия) имеет богатый опыт производства брикетов на основе первородного сырья (железорудный концентрат, марганцевый концентрат, отсеvy хромовой руды) с введением углеродной составляющей до 25%; железоуглеродосодержащих брикетов на основе промышленных отходов (прокатной окалины, чугуновой стружки, стальной стружки, железосодержащих шлаков, различных шламов, пылей установок аспирации, коксовой мелочи, коксовой пыли, угольных шламов, отсеvов графита, отсеvов углей и т.д.) с проектным содержанием Fe и C; углеродосодержащих брикетов на основе отсеvов углеродосодержащих материалов; брикетов с содержанием легирующих элементов (Ni, Cr, V, Mn).

В настоящее время технология изготовления металлургических брикетов компании "ЭкоМашГео" отработана на различных линиях российского и импортного производства. Успешно проведены промышленные плавки с использованием металлургических брикетов разнообразных составов в доменном, мартеновском, электросталеплавильном, в том числе на индукционных печах, переделах и в вагранках на металлургических предприятиях России и стран ближнего зарубежья: ОАО «Тулачермет», ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», ОАО «Липецкий металлургический завод «Сободный сокол» (Россия), АО «Лиепаяс Металургс», (Латвия), РУП «Белорусский металлургический завод» (Республика Беларусь) и др. [12]

Следует отметить, что найденные рациональные параметры технологии брикетирования соответствуют строго определенным видам исходного сырья и носят скорее частный характер.

Выводы и направления дальнейших исследований. Анализ работы отечественных и зарубежных предприятий горно-металлургического комплекса показал, что на сегодняшний день технология брикетирования успешно применяется для утилизации техногенных отходов и почти не применяется для окускования железорудных концентратов и мелкодисперсных руд. Поэтому доля сырья, окускованного этим методом, остается на уровне 2%.

Несмотря на то, что процесс брикетирования является наиболее ранним из способов окускования, он в большинстве направлений развивался и развивается эмпирически. Решение и сколь-нибудь теоретическое обоснование находили исключительно вопросы, поставленные производством, а развитию теоретических основ уделяется гораздо меньшее внимание.

Несмотря на богатый опыт использования технологии брикетирования, существует потенциал для дальнейшего ее совершенствования, а именно посредством направленного изменения свойств связующих компонентов, применения принципиально новых методов и устройств для распределения этих составляющих в объеме шихты, использование для упрочнения брикетов чистых от примесей энергоносителей, таких как электрический ток и другие. Углубленное изучение теории и технологии брикетирования обеспечит статус-кво и развитие её в промышленном масштабе.

Список литературы

1. Пути интенсификации процесса сушки окатышей на конвейерных машинах / **Е. В. Некрасова, А. П. Буткарев, Г. М. Майзель, С. А. Мариев**: В кн.: Интенсификация процессов окускования железорудного сырья. — Свердловск: Уралмеханобр. 1985. С. 58–63.
2. Брикетирование как полноправный метод окускования металлургического сырья / **В. В. Ожогин, А. А. Томаш, И. А. Ковалевский, О. В. Жерлицина, В. В. Исаева** // [Металлург. процессы и оборудование](#). - 2005. - № 2. - С. 54-58.
3. **Носков Н.А.** Роль брикетирования в проблеме утилизации металлургических отходов // Теория и практика производства чугуна: Сб. трудов международн. конф. доменщиков. -Кривой Рог: КГТМК "Криворожсталь". 2004. -С. 591-594.
4. Брикетирование металлургического сырья. Актуальность и пути развития метода / **Б. Н. Маймур, А. Ю. Худяков, В. И. Петренко, С. В. Ващенко, К. В. Баюл** // Бюллетень «Черная металлургия». 2016. №1.С. 74-81.
5. Производство и применение в доменной печи брикетов нового поколения / **Й. К. Далмиа, И. Ф. Курунов, Р. Б. Стил, А. М. Бажанов** // [Металлург](#). 2012. № 3. С. 39–41.
6. **Равич Б. М.** Брикетирование руд. — М.: Недра. 1982. — 183 с.
7. **Равич Б.М.** Брикетирование в цветной и черной металлургии. — М.: «Металлургия», 1975. — 356 с.
8. **Ожогин В.В.** Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья: монография. — Мариуполь: ПГТУ, 2010. — 442 с.
9. **Кожевников И.Ю., Равич Б.М.** Окускование и основы металлургии. — М.: Металлургия, 1991. — 296 с.
10. История брикетирования и предлагаемый способ. Режим доступа: http://briket.ru/briket_his.shtml
11. **Федосеев С.Н.** Технология ОХУ Сур для экологически чистого производства черных металлов // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 27–28 Ноября 2014. — Томск: ТПУ, 2014 — С. 162–167.
12. http://briket.ru/briket_exp.html

Рукопись поступила в редакцию 03.04.2019

УДК 621.771

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

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ДЕФОРМАЦІЇ НА ЗМІНУ НАПРУЖЕННЯ ПРИ ПОВЗДОВЖНЬОМУ ПРОКАТУВАННІ

Мета: визначити закономірності впливу швидкості деформації на величину напружень при повздовжньому прокатуванні.

Методи: базуються на фундаментальних положеннях теорії обробки металів тиском, на використанні теоретичного аналізу утворення напруженого стану металу, що виникає в осередку деформації при прокатуванні експериментальної перевірки прийнятих гіпотез та отриманих результатів.

Наукова новизна полягає у тому, що отримано закономірності впливу ступеню обтиснення при прокатуванні на напруження та швидкість обробки, визначено залежність границі текучості металу від швидкості деформації.

Практична значимість полягає у тому, що отримані закономірності та залежності дозволяють доповнити та підвищити точність розрахунків енергосилових параметрів при повздовжньому прокатуванні, що забезпечує можливість більш надійно визначити витрати енергії при прокатуванні та обирати раціональні режими обтиснення.

Результати: в результаті аналізу напружено-деформованого стану металу, що утворюється у осередку деформації при повздовжньому прокатуванні виявлено, що домінуючою є об'ємна схема з трьома стискаючими напруженнями, які викликають деформацію, внаслідок чого утворюється деформований стан, що має об'ємну схему, яка характеризується однією деформацією скорочення і двома деформаціями подовження. На величину напруження впливає швидкість деформації. Визначено ступінь та швидкість деформації, напруження, що виникають при повздовжньому прокатуванні в залежності від ступеню деформації. Досліджено зміну тензора напружень в залежності від швидкості деформації. Виявлено, що швидкість деформації зменшується при збільшенні ступеню деформації. Встановлено, що напруження при гарячому прокатуванні сталі звичайної якості Ст 3 змінюється в межах від 55 МПа до 88 МПа в залежності від швидкості деформації за лінійною залежністю. Отримано закономірність впливу швидкості деформації на напруження металу при прокатуванні, що дозволяє підвищити точність розрахунків при визначенні зусиль та деформації при обробці тиском

Ключові слова: осередок деформації, повздовжнє прокатування, напруження, швидкість деформації, обтиснення, схема деформованого стану

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-42-46

© Чубенко В.А., Хіноцька А.А., 2019

Проблема та її зв'язок з науковими практичними завданнями. При великих пластичних деформаціях, які характерні обробці металів тиском, істотно змінюються властивості тіла, що обробляється, змінюється структура, фазовий склад та відбуваються хімічні перетворення в металах. Під час гарячого прокатування відбуваються постійні зміни напруження та швидкості деформації. Для правильного розподілу обтиснень в клітках прокатного стану і визначення витрат енергії потрібно визначити розподіл напружень та деформацій в об'ємі деформуємого тіла, тому дослідження впливу швидкості деформації на напруження при повздовжньому прокатуванні є задача актуальна.

Аналіз досліджень та публікацій. При повздовжньому прокатуванні відбувається обтиснення металу, що приводить до зменшення висоти смуги, що обробляється, збільшення її ширини і довжини. Утворюється осередок деформації (рис. 1), де відбуваються складні процеси перетворень [1, 2], діють нерівномірні напруження, що впливає на якість виробу [3, 4]. Багато уваги приділено зміні об'єму металу в осередку деформації, швидкості переміщення металу та валків [5].

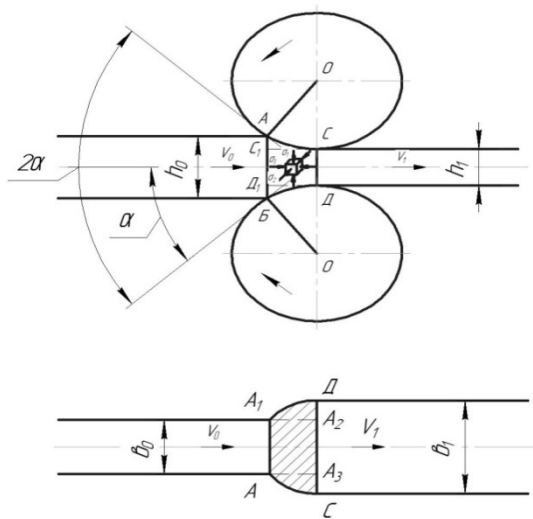


Рис. 1. Схема осередку деформації при повздовжньому прокатуванні: h_0 і h_1 – висота смуги відповідно до входу в осередок деформації та на виході з нього; b_0 і b_1 – ширина смуги до входу в осередок деформації та на виході з нього; α – кут захоплення; v_0 і v_1 – швидкість смуги відповідно до входу в осередок деформації та на виході з нього; R – радіус прокатних валків

При вивченні та аналізі схеми напруженого стану металу в осередку деформації необхідно враховувати напрям дії зовнішніх сил [6].

У поздовжньому напрямку основні горизонтальні складові утворюються силами тертя, причому в зоні відставання вони спрямовані за рухом прокатування, а у зоні випередження – проти.

Таким чином, при будь-якому повздовжньому переміщенні часток металу в осередку деформації вони витримують підпиряючу дію з боку сил тертя.

Це свідчить, що в повздовжньому напрямку діють стискаючі напруження σ_3 . При поперечному переміщенні часток металу в осередку деформації вони також зустрічають опір сил тертя, тому і в поперечному напрямку також діють стискаючі напруження σ_2 . І у вертикальному напрямку сили тиску валків на метал утворюють стискаючі напруження σ_1 . Це все свідчить про те, що напружений стан смуги при прокатуванні характеризується об'ємною схемою з трьома стискаючими напруженнями. Але така схема існує не у всіх точках осередку деформації, а є домінуючою [7].

Під дією вказаних напружень виникає деформація, тобто утворюється деформований стан прокатуємого штаби (рис. 2 [6 рис 6.4]). Схема деформованого стану при повздовжньому прокатуванні є об'ємною і характеризується однією деформацією скорочення і двома деформаціями подовження.

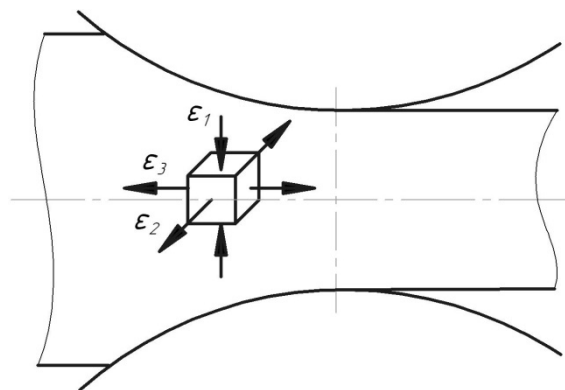


Рис. 2. Схема деформованого стану при прокатуванні [6]

Відповідно до закону найменшого опору, метал тече у тому напрямку, де він зустрічає найменший опір своєму переміщенню. При прокатуванні таким напрямком є повздовжній напрям, тобто зміщений при обтисненні метал тече в основному у витяжку [8]. Звідси $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$. Враховуючи схему напруженого стану, σ_3 – максимальне напруження за абсолютною величиною, тобто $\sigma_3 = \sigma_{max}$.

Враховуючи те, що не достатньо досліджено закономірності впливу швидкості деформації на зміну величини напруження при прокатуванні, потрібно виконати дослідження зміни тензора напружень в залежності від швидкісних умов

прокатування, що дозволить підвищити точність розрахунків при визначенні зусиль та деформації при прокатуванні.

Постановка задачі: визначити закономірності впливу швидкості деформації на величину напружень при повздовжньому прокатуванні. Для цього потрібно виконати аналіз напруженого стану в осередку деформації при повздовжньому прокатуванні та визначити зміну напружень в осередку деформації при гарячому прокатуванні в залежності від швидкості деформації.

Викладення матеріалу та результати. Використано методи дослідження, які базуються на фундаментальних положеннях теорії обробки металів тиском, застосовано теоретичний аналіз і виконано експериментальну перевірку прийнятих гіпотез і отриманих результатів. Основу теоретичних досліджень складають головні положення механіки суцільних середовищ, теорії плинності, методи розв'язання динамічної задачі пружно-пластичної деформації.

Напруження, що діють у осередку деформації можна представити у вигляді тензора напружень [6, 8-12] (табл. 1). Ці напруження викликають деформацію, тензор якої можна представити у вигляді, який показано в табл. 1. Деформація протікає з визначеною швидкістю, тензор якої наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Показники напруженого стану при прокатуванні в осередку деформації			
Показники			
Позначення	Напруження	Деформація	Швидкість деформації
	σ	ε	ξ
Тензор	$\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \xi_{11} & \xi_{12} & \xi_{13} \\ \xi_{21} & \xi_{22} & \xi_{23} \\ \xi_{31} & \xi_{32} & \xi_{33} \end{bmatrix}$

В дослідженнях використовувалася сталь звичайної якості марки Ст 3.

Опір деформації визначався за даними В.І. Зюзіна [7].

Швидкість деформації визначали за формулою

$$\xi = \frac{v_g \sqrt{\Delta h R}}{h_{cp}}$$

де v_g – швидкість валків, Δh – обтиснення, що визначається за формулою:

$\Delta h = h_0 - h_1$; R – радіус валків, h_{cp} – середня висота смуги; h_0 – початкова висота смуги; h_1 – кінцева висота смуги.

Результати досліджень та розрахунків занесені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати дослідження параметрів гарячого прокатування

h_0 , мм	h_1 , мм	α , °	R , мм	Δh , мм	ε , %	t , °С	v_0 , м/с	v_1 , м/с	ξ , с ⁻¹	σ_T , МПа
100	92	13	200	8	8	1200	10	10,35	13,6	88
200	180	20	300	20	10	1200	8	8,1	3,3	61
300	255	25	400	45	15	1200	5	5,12	2,4	59
500	400	30	500	100	20	1200	3	3,2	1,22	55

На підставі отриманих даних будуємо діаграму (рис. 3), яка показує залежність швидкості деформації ξ від величини відносного обтиснення ε .

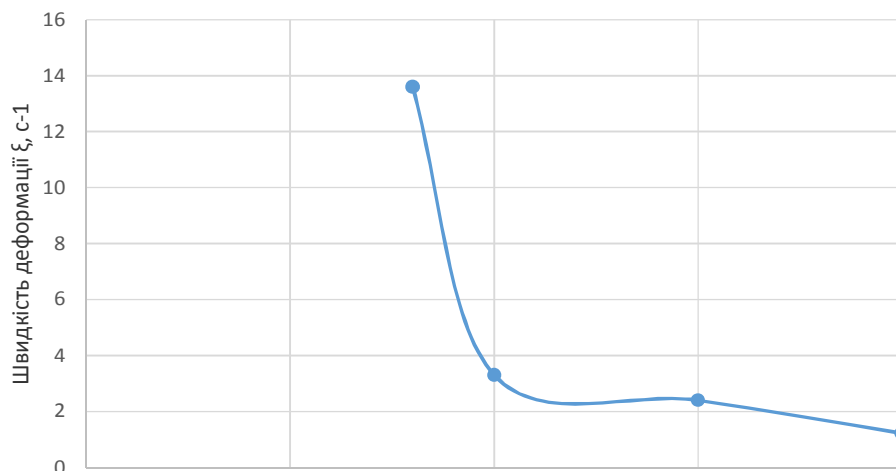


Рис. 3. Вплив величини обтиснення на швидкість деформації при гарячому прокатуванні

З рисунка 3 видно, що швидкість деформації зменшується при збільшенні ступеня обтиснення, що пояснюється тим, що при збільшенні величини обтиснення потрібно зменшувати швидкість прокатування. З особливою інтенсивністю це зменшення відбувається при незначних ступенях деформації (до 10%).

Таблиця 3
Напружений стан оброблюваного матеріалу при прокатуванні

Швидкість деформації, с^{-1}	Величина напруження, МПа	Тензор напруження
13,6	88	$\begin{bmatrix} -4 & -3 & -3 \\ -3 & -4,4 & -3 \\ -3 & -3 & -5 \end{bmatrix}$
3,3	61	$\begin{bmatrix} -3,8 & -2 & -2 \\ -2 & -3,9 & -2 \\ -2 & -2 & -4,1 \end{bmatrix}$
2,4	59	$\begin{bmatrix} -3,8 & -2 & -2 \\ -2 & -3,9 & -2 \\ -2 & -2 & -4 \end{bmatrix}$
1,22	55	$\begin{bmatrix} -3,6 & -2 & -2 \\ -2 & -3,8 & -2 \\ -2 & -2 & -4 \end{bmatrix}$

Швидкість деформації впливає на величину зміни величини напруження. В подальшому визначимо тензор напруження (табл. 3), який складається зі стискаючих складових, тобто має від'ємні компоненти.

В табл. 3 показано розподіл напружень в залежності від швидкості деформації, де видно, що при зменшенні величини швидкості деформації зменшується величина напруження при прокатуванні.

Закономірності впливу швидкості деформації на зміну величини напружень показано на рис. 4.

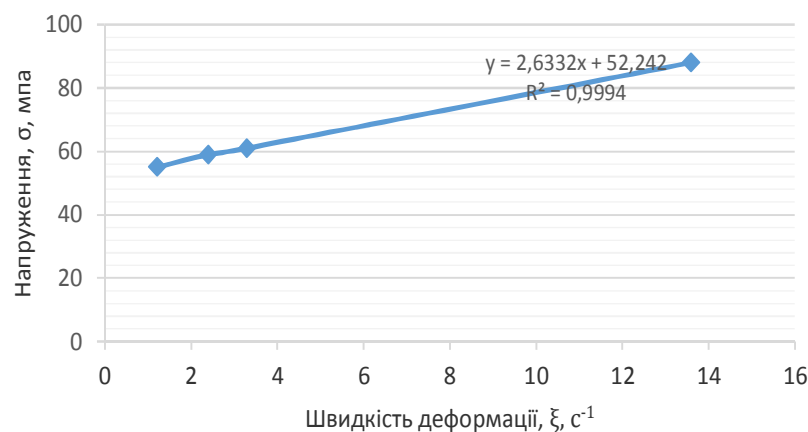


Рис. 4. Закономірність впливу швидкості деформації на напруження металу при прокатуванні

З рисунку 4 видно, що при збільшенні швидкості деформації збільшується напруження при гарячому прокатуванні за лінійної залежності, яка описується рівнянням $y = 2,6332x + 52,242$. При переході до натуральних змінних залежність прийме вигляд: $\sigma = 2,6332\xi + 52,243$. Така залежність доповнює енергосилові розрахунки при обробці металів тиском.

Висновок. Встановлено закономірності впливу швидкості деформації на зміну напружень при гарячому прокатуванні, що дозволяє підвищити точність розрахунків при визначенні зусиль та витрат енергії на прокатування.

Список літератури

1. Дослідження об'ємно структурних і енергетичних перетворень в сталях при прокатуванні / **В.А.Чубенко, А.А.Хіноцька**, Кривий Ріг: Видавництво ФО-П Чернявський Д.О., 2018. – 171 с.
2. Бережний М.М. Набуття сталлю реологічних властивостей в осередку деформації при прокатуванні / **Бережний М.М., Чубенко В.А., Хіноцька А.А.** – Кривий Ріг: Діонат, 2014. – 181 с.
3. **Серета Б.П.** Обробка металів тиском: Навчальний посібник. Запоріжжя: РВВ ЗДІА, 2009. – 344 с.
4. Теорія процесів прокатного, трубного ковальсько-штампувального та волочильного виробництва: Навчальний посібник. / **Максименко О.П., Лясота С.М., Романюк Р.Я.** Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2009. – 208 с.
5. Процессы деформации металла на основе многовалковых калибров: Монография/ **И.К.Огинский, В.Н.Данченко, А.А.Самсоненко, В.В.Бояркин.** – Днепропетровск: Пороги. 2011. – 355 с.
6. **Василев В.Д., Мінаєв А.О.** Теорія позадвужньої прокатки. Донецьк: УНІТЕХ, 2009. – 488 с.
7. **Грудев А.А.** Теорія прокатки: Учебник для вузов/ М.: Металлургия, 1988. – 240 с.

8. Данченко В.М., Грінкевич В.О., Головка О.М. Теорія процесів обробки металів тиском: Підручник. Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с.
9. Теоретичні основи обробки металів тиском: Монографія у 2 т./ Б. М. Ілюкович, А. П. Огурцов, М.Є. Нехаєв, С.В.Єршов. – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2002. – Т1. – 518 с.
10. Коломогоров В.Л. Механіка обробки металів тиском. – М.: Металлургия, 1986. – 688 с.
11. Гун Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1980. – 456 с.
12. Унксов Е.П., Джонсон У., Колмогоров В.Л. и др. Теория пластических деформаций металлов / Под. ред. Унксова Е.П., Овчинникова А.Г. – М.: Машиностроение, 1983. – 598 с.

Рукопис подано до редакції 02.04.2019

УДК658.512.011.56.01.77

С.О. ПОПОВ, д-р техн. наук, проф., Є.К. БАБЕЦЬ, канд.техн.наук, доц.,
Є.В. ВАСИЛЕНКО, аспірант, Криворізький національний університет

ПРОБЛЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМ ПРОЦЕСОМ НА ПІДЗЕМНИХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ГІРНИЧОДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ

Мета. Одним із напрямків подальшого розвитку вітчизняного підземного залізорудного гірничодобувного виробництва є автоматизація управління виробничим процесом на шахтах (АСУВП). Впровадження АСУВП стикається із серйозною проблемою, яка полягає у відсутності методичного, програмного, організаційного і технічного забезпечення розробки повнофункціональних таких систем. З метою розробки теоретичних основ створення повнофункціональних таких систем авторами були виконані дослідження проблематики і складностей їх розробки і впровадження та висвітлення вузлових аспектів їх структури і функціонування.

Методи. Для досягнення поставленої мети було застосовано методи пошуку, огляду і аналітичної обробки бібліографічної інформації, методи мозкового штурму, методи сітьового моделювання, методи структурного аналізу.

Наукова новизна. Новими науковими результатами виконаних досліджень і розробок авторів є визначення і розкриття суті проблем і складностей, які виникають в процесі розробки і впровадження АСУВП підземних залізорудних гірничодобувних підприємств; розробка структури управління цим процесом згідно до принципів Демінга-Шухарта управління системами, що розвиваються; розробка моделі виробничого процесу на залізорудних шахтах і моделі структури системи управління цим процесом з визначенням інформаційних і управлінських зв'язків.

Практична значимість. Розробки, виконані авторами мають значення для практики розробки методичної бази, математичних методів, програмного забезпечення та створення технічної бази АСУВП на вітчизняних підземних залізорудних гірничодобувних підприємствах. Результати роботи мають значення для правильного організації управління всіма процесами, які виконуються на підземному залізорудному підприємстві. До основних з цих процесів відносяться: розкриття рудних покладів, технологічні процеси очисного виймання руди, управління геомеханічним станом гірничого масиву, транспорт видобутої руди, підйом руди на поверхню, переробка руди у товарний продукт. Особливо важливим фактором є забезпечення безпеки здійснення виробничих процесів, які виконуються у підземних умовах. Це у першу чергу відноситься до безпеки геомеханічних умов, які формуються як природними факторами, так і факторами, які залежать від методів виконання технологічних процесів.

Результати. Розроблені основи створення повнофункціональних АСУВП для залізорудних шахт.

Ключові слова: автоматизація, управління, виробничий процес, залізорудні гірничодобувні підприємства.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-46-52

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Одним з найбільш важливих напрямків подальшого розвитку залізорудної гірничодобувної промисловості України є автоматизація управління виробничим процесом на підприємствах цієї промисловості.

Вказаний напрям особливо важливий для гірничодобувних підприємств, які здійснюють розробку родовищ залізних руд підземним способом. На даний час ці підприємства виробляють до 15-20% товарної залізорудної продукції України, при цьому, виробничий процес на них здійснюється у вкрай складних підземних умовах, і характеризуються підвищеною технологічною складністю, високою динамічністю, небезпечністю. Крім того, функціонування цих підприємств здійснюється в умовах жорсткої конкуренції на ринках залізорудної продукції за її якісними, економічними характеристиками.

Автоматизація управління виробничим процесом у таких умовах є одним з найважливіших засобів забезпечення конкурентоспроможності гірничодобувних підприємств, стабільності їх виробничої діяльності та економічної безпеки. Однак, на даний час на жодному вітчизняному підземному залізорудному підприємстві не застосовуються повнофункціональні автоматизовані

системи управління виробничим процесом (АСУВП). Причиною цього є відсутність програмних розробок і апаратних засобів реалізації такого управління. На цих підприємствах автоматизоване управління тільки певними ланками їх виробничо-технологічної системи.

Описана ситуація висуває актуальну проблему, яка полягає у гострій необхідності розробки повнофункціональної АСУВП підземного гірничодобувного виробництва.

Аналіз досліджень та публікацій. Огляд і аналіз літературних джерел за даним напрямом показав, що розробками у ньому займалось відносно невелика кількість вчених, а саме: Астаф'єв Ю.П., Тестер Ю.Б. Назаренко В.М., Давидкович А.С., Каграманян С.Л., Малишев В.А., Глушков Н.Т., Барський Л.А. і ряд інших. Однак роботи цих авторів в основному спрямовувались на два напрями автоматизації у гірничодобувному виробництві, а саме: управління ресурсним забезпеченням підприємств, та розробкою автоматизованих систем управління конкретними технологічними процесами (АСУТП).

Таким чином, повнофункціональної АСУВП на класичній теоретичній і методологічній основі таких систем та програмно-апаратних засобів їх реалізації для вітчизняних гірничодобувних підприємств вони так і не зробили.

Постановка задачі. Відповідно до вказаної проблеми авторами було поставлено за мету визначити фактори, які мають місце на вітчизняних підземних залізрудних підприємствах і ускладнюють розробку та впровадження повнофункціональних АСУВП, а також визначення особливостей розробки і застосування таких систем у їх виробничій діяльності.

Викладення матеріалу та результати. Основною метою застосування АСУВП є забезпечення необхідних технічних і економічних результатів здійснення виробничого процесу у задані часові періоди. Це досягається за рахунок наявності у таких системах програмних і апаратних засобів розв'язання задач управління виробничим процесом за принципами, так званого циклу управління Демінга-Шухарта [1], який включає оптимізацію планування виробничого процесу, організацію, контроль ходу його виконання, техніко-економічний аналіз і оцінки результатів виконання процесу з отриманням висновків за цим аналізом, які представляють основу для розробки подальших управлінських рішень з підвищення ефективності виконання виробничого процесу у його наступних періодах.

Наряду із цим слід відмітити, що на даний час на вітчизняних підземних залізрудних гірничодобувних підприємствах мають місце значні складності з впровадженням таких систем. Суть цих складностей, причини її виникнення та методи їх усунення, викладені далі.

Автоматизована система управління виробничим процесом - *Advanced Manufacturing Management* (АММ-система) (за міжнародною термінологією) представляє складову так званих ERP-систем (*Enterprise Resource Planning System* - систем планування ресурсів підприємства), тобто ERP-система повинна включати, як один з базових елементів АММ-підсистему [2].

Системи рівня ERP вже застосовуються на деяких підприємствах України у інших галузях. До найбільш відомих серед них відносяться: OneBox; 1С:ERP; [MSDynamicsERP](#); Парус-Підприємство; BASERP; [DeloPro](#); [HansaWorld](#); Галактика ERP; IFS Applications; Універсал. Однак, серед цих систем тільки 1С:ERP і Галактика ERP мають певне відношення до гірничодобувної галузі, тобто в їх структуру введені певні модулі для розв'язання задач планування за підходами, характерними саме для підприємств цієї галузі. У той же час розроблених повноструктурних АММ-підсистем цього напрямку вказані ERP-системи не мають.

Таким чином виникає парадоксальна ситуація коли на підприємстві функціонує автоматизована система, яка здійснює розв'язання задач управління ресурсним і фінансовим забезпеченням підприємства у той же час відсутня система управління самим виробничим процесом, який здійснює це підприємство, і який визначає необхідні характеристики ресурсних та фінансових потоків у ньому. За методологією управління підприємством, яку повинні реалізувати ERP-системи ці дві складові повинні функціонувати у інтегрованому комплексі, адже вони є взаємопов'язаними і взаємозалежними за їх функціями, характером задач та інформаційними потоками. Тобто вихідна інформація АММ-підсистеми є вхідною для ERP-системи, і навпаки для забезпечення розв'язання задач АММ-підсистеми вона повинна отримати інформацію з ERP-системи.

За цим слід все ж зауважити, що розробники вказаних ERP-систем передбачили їх відкриту конфігурацію, яка дозволяє вбудовувати в їх структуру програмні модулі з необхідними функці-

ями і призначенням. Це надає можливість формувати інтегровані систем управління шляхом адаптації відповідних ERP-систем до розв'язання специфічних задач гірничодобувного виробництва і створювати єдиний проблемно-орієнтований комплекс управління.

Головною причиною вище вказаного недоліку сучасних ERP-систем є специфіка їх методичної бази, а саме – методи управління ресурсними і фінансовими потоками підприємств регламентуються загальною інституційною базою держави у цій сфері, а методи і формування цих потоків та їх параметрів визначаються конкретним видом виробництва, його технології, техніки, організації, які визначаються специфікою конкретного виду виробництва. Тому, якщо загальна частина ERP-систем може бути розроблена на основі загальних правил то АММ-підсистема може бути розроблена тільки у взаємодії спеціалістів з управління виробничим процесом конкретного підприємства з програмістами високого професійного рівня.

Цілком зрозуміло, що адаптація таких систем до управління підземним залізородним гірничодобувним виробництвом повинна враховувати цілий комплекс особливостей, умов, зв'язків, специфічних задач, які мають місце у цьому виробництві, модулі для розв'язання яких повинна мати АММ-підсистема. Ці особливості розглянуті далі.

Підземна розробка залізородних родовищ в Україні характеризується певною специфікою, яка проявляється у таких його аспектах. Вітчизняні залізородні шахти мають високу продуктивність з вилучення з надр гірських порід зі значною міцністю. Так кожна залізородна шахта за рік вилучає з надр від 1,5 до 3,5 млн.т гірничої маси з коефіцієнтом міцності $f=6-10$ до $f=18-20$. Це утворює інтенсивний потік гірської маси різних видів, які обробляються і переробляються за різними технологіями, засобами та організацією процесів.

Відповідно до високих темпів виймання гірничої маси постійно зростає і глибина розробки. Так, з початку масового підземного видобутку залізних руд з кінця 60-х років глибина шахт України зросла з 200-400 м до 1400-1500 м у найближчій перспективі планується досягнення глибин 1600-1800 м. За цим, геомеханіці, геофізичні, гідрогеологічні умови розробки на залізородних шахтах постійно змінюються і ускладнюються.

Виробничі об'єкти шахт (виймальні ділянки, добувні блоки, панелі, вибої) є вкрай динамічними. Вони постійно змінюють свої параметри і місце знаходження по мірі відпрацювання запасів із заміною одних виймальних ділянок на інші. В результаті цього, шахта постійно зростає за масштабами у просторі. За цим, зростає і масштабність та складність систем вентиляції, транспорту, водовідливу, енергозабезпечення, особливо швидко зростає небезпечність розробки за ускладненням геомеханічних умов розробки на великих глибинах.

Специфікою геомеханічних умов розробки є постійне зростання зони обвалення порід, зростання розмірів мульди їх зсуву, величини гірського тиску та відповідне зниження стійкості гірських масивів. Крім того, на поведінку масивів гірських порід на великих глибинах впливає багато факторів, які мають ймовірнісний характер, тобто їх виникнення, розвиток і дію важко прогнозувати, а це суттєво ускладнює прийняття рішень з організації безпеки розробки і управління виробничим процесом у таких умовах. Це визначає необхідність наявності у АММ-системах функцій підтримки прийняття управлінських рішень (СППУР) [3] за відповідними складовими виробничого процесу, включаючи і управління безпекою його виконання.

Слід вказати на те, що залізородні гірничодобувні підприємства відносяться до категорії виробничих об'єктів підвищеної небезпеки [4]. Вони характеризуються вкрай небезпечними умовами за технологічними і геотехнічними аспектами розробки не тільки для їх працівників, а створюють і значну загрозу для навколишнього середовища. Це обумовлене масштабним і вкрай негативним впливом їх діяльності на навколишнє середовище за порушенням природного стану масивів гірських порід, повітряного і водного басейнів.

Вкрай негативним фактором є нестабільні зовнішні економічні умови в результаті значних коливань ринкових цін на залізородну продукцію та постійним зростанням цін на виробничі ресурси. Так за останні 10 років ціни на цю продукцію зростали і падали аж у 3 рази і прогнозувати подальші тенденції цих змін дуже важко. Ціни на виробничі ресурси за цей період зросли аж 4 рази. Все це в комплексі вкрай негативно впливає на рентабельність виробництва і відповідно на фінансові можливості, ресурсне забезпечення виробництва.

Розробка АММ-підсистем повинна враховувати і те, що шахта, як промисловий виробничий об'єкт, відноситься до категорії складних систем, управління якими повинно здійснюватись за особливими підходами і принципами [5].

Ця система представляє сукупність елементів (виймальних ділянок, добувних блоків, панелей, об'єктів вентиляції, водовідливу, енергозабезпечення, транспорту, підйому, які складаються з безлічі машин, агрегатів, установок, робочих місць), які всі взаємопов'язані і взаємозалежні за структурою виробничого процесу і параметрами їх функціонування.

Весь процес підземного гірничодобувного виробництва представляє проходження предмету праці (поток руди) через окремі робочі місця і агрегати, і представляє багата стадійний процес, який включає певні стадії, етапи, процеси, роботи, операції. На кожній з них вбувається об'єднання різного виду ресурсів з одержанням продукту цього етапу, тобто потоку руди, який набуває певних технічних і економічних характеристик за цим етапом.

До таких етапів відносяться: розкриття запасів руди, їх підготовка, відпрацювання запасу (нарізання, відбійка, випуск, доставка), відкатка, підйом, рудопідготовка, збагачення. Можливість виконання гірничих робіт на цих етапах забезпечується системами: вентиляції, водовідливу, енергопостачання, охорони праці. Всі ці процеси і системи є елементами загальної і вкрай складної виробничо-технологічної системи гірничодобувного підприємства.

Цю систему необхідно розглядати також і як складну соціальну систему, тобто систему, що складається зі спеціалізованих трудових колективів, які представляють основний ресурс підприємства і мають свою структуру, зв'язки і залежності.

Правильне управління всіма елементами складної виробничої системи гірничодобувного підприємства в комплексі для забезпечення злагодженого і оптимізованого їх функціонування є ключовим важелем досягнення ефективності виробничого процесу і автоматизація цього управління є найважливішим засобом організації такого функціонування.

Підземне гірничодобувне підприємство незважаючи на високу структурну і організаційну складність та масштабність все ж є системою керованою, тобто ця система спроможна сприймати управлінські дії і відповідним образом реагувати на них. Ця система являє єдність організації, методів та засобів, які забезпечують досягнення поставлених перед підприємством виробничих завдань.

До таких завдань відносяться: випуск залізорудної продукції у необхідній кількості з необхідною продуктивністю, асортиментом товарної залізорудної продукції різних видів; необхідними споживчими характеристиками цієї продукції; забезпечення доходів від її реалізації за нормою прибутковості виробництва; виконання зобов'язань з різних видів податків, фінансових відрахувань та ін.; створення належних умов праці; реалізація заходів з мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

Все це є елементами загального завдання з оптимального управління виробництвом, успішне розв'язання якого (в комплексі цих елементів) можливе тільки на основі найбільш повної автоматизації управління виробним процесом, як основи організації заходів з реалізації всіх вказаних завдань.

Автоматизація процесу управління виробничим процесом, як мета створення АММ-підсистеми, базується на моделі об'єкту управління. Ця модель повинна з необхідною ступеню деталізації і точності описувати структуру, методи і технологію виробничого процесу та є основою організації функціонування АММ-підсистеми залізорудних шахт.

Логіка розробки такої моделі авторами наведена далі. Структурними елементами виробничо-технологічної системи шахти (ВТСШ) є ділянки, цехи і окремі робочі місця. Через управління діяльністю цих елементів реалізується управління і всією цією системою.

Основою моделі ВТСШ є порядок формування продукції виробництва P (товарної залізної руди), як результату виконання сукупності певних дій і витрат ресурсів (робіт, операцій, праці, матеріалів, енергії), цей процес може бути відображений у вигляді графу [6, 7]

$$P = \{p, uU\},$$

де вершини p – елементи схеми формування (вузли, підузли, робочі місця); u – дуги, які характеризують взаємозв'язок елементів виробничо-технологічної системи; U – сукупність всіх елементів схеми виробничо-технологічної системи.

Дуги p характеризують входимість одних позицій в інші (так у нашому випадку, що елементи p_i входить у позицію p_j) тобто кожен вузол системи має свої підпорядковані елементи. Множина дуг U відображає повну функціональну схему системи, тобто дуга $u=(p_i, p_j)$ має місце в графі P , якщо p_i включається в p_j безпосередньо в процесі виробництва на конкретному вузлі виробничо-технологічної системи. Кожній дузі u у системі U ($u \in U$) поставлена у відповідність

певна технологічна операція. Кожна позиція у виробничому процесі може проходити ряд технологічних операцій, при цьому черговість виконання цих операцій регламентована, тобто кожній позиції p_i поставлений у відповідність граф

$$p_i \leftrightarrow p_i^0 = \{O; v\},$$

де O – операції, виконувані над позицією p_i , а дуги v вказують на черговість операцій O , тобто відношення $v \in$ відношення порядку. Кожній операції O ставиться у відповідність множина

$$O \leftrightarrow O^0 = \{R; r; s(r, R)\},$$

яка характеризує робочі місця, де виконується операція O^0 , ресурси і способи обчислення показників $s(r, R)$ з параметрів використання ресурсів і тривалості операцій.

Конструкторсько-технологічна підготовка виробництва фактично зводиться до побудови графу $P = \{p, u\}, \{p_i^0, O^0\}$.

Вище описані тільки основи побудови моделі виробничо-технологічної систем підземного гірничодобувного підприємства і здійснення виробничого процесу. У розгорнутому вигляді ця модель є дуже складною за структурою, зв'язками та масштабами, тому розв'язання задач управління цим процесом може бути реалізований тільки на основі автоматизації.

Далі наведена загальна схема АММ-підсистеми (рис. 1), яка реалізує описану модель виробничого процесу.

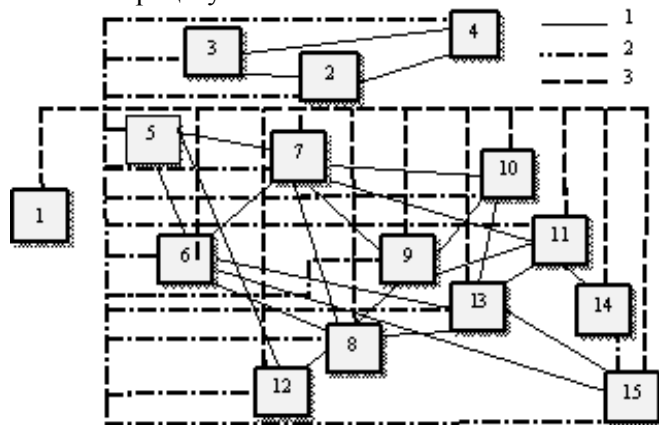


Рис. 1. Схема АММ-підсистеми підземного залізрудного гірничодобувного підприємства

На цьому рисунку лінії визначають: 1- підпорядкованість відносин; 2- потік керуючої інформації; 3- основні інформаційні потоки. Блоки 1- орган управління АММ-підсистемою (формує економічну й технічну політику виробничого процесу, виробничу, наукову інформацію); 2- служба організації й диспетчеризації потоків інформації; 3- підсистема організації реалізації управлінських рішень; 4- підсистема математико-алгоритмічне забезпечення; 5- підсистема конструкторсько-технологічної підготовки виробництва; 6- підсистема економічного планування і аналізу; 7- підсистема об'ємно-календарного і календарного планування; 8- підсистема контролю ресурсопотоків і оцінки виконання плану; 9- підсистема диспетчеризації і оперативного коректування плану; 10- підсистема техніко-економічного забезпечення виробництва виробничого процесу; 11- підсистема матеріального забезпечення виробничого процесу; 12- підсистема контролю і аналізу виробничих показників; 13- підсистема бухгалтерського обліку і нарахування зарплати; 14- підсистема управління геомеханічним станом надр; 15- підсистема управління підземним будівництвом.

Вище були вказані функції, які виконує АММ-підсистема у рамках ERP-системи. У даному підрозділі ми зупинимось на одній з них, але яка є визначальною для всіх інших складових АММ-підсистеми і їх функцій, спрямовуються на реалізацію рішень, що приймаються при виконанні саме цієї функції – мова йде про розробку плану виробничого процесу.

Описана вище модель виробничої системи гірничодобувного підприємства і виробниче завдання, яке ставиться перед ним є основою розробки плану виробничого процесу на певний період часу. Цей план розорється у межах АММ-підсистеми. Функціонування всіх інших елементів АММ-підсистеми зводяться до організації, забезпечення, контролю і визначення фактично отриманих результатів цього плану.

План виробництва містить елементи прогнозування результатів виробничої діяльності і розрахункову частину плану. Змістом план розглядається, як модель виробничого процесу, відповідно до якої повинно здійснюватись виробництво. План, крім формування виробничого завдання, містить завдання, що визначають форму організації праці, технологію та управління [8]. Однак, навіть для тих випадків, коли управління виробничим процесом може бути зведено до процедур регуляторного характеру, розрахунок параметрів плану є головним засобом організації і координації, корегування виробництва та використання ресурсів.

План роботи виробничої системи повинен складатись з планів трьох рівнів, які охоплюють і різний рівень структури виробничого процесу, відповідно що і методи побудови цих планів є також різними. Найбільш проста модель застосовується для планування роботи самих дрібних підрозділів виробничо-технологічної системи підприємства, тобто до робочих місць. Ці плани повинні представляти у вигляді нескладних аналітичних залежностей, які мають назву виробничих функцій. Плановою моделлю більш високого рівня є балансова модель. Ця модель описує потоки ресурсів між окремими цехами (дільницями) виробничої системи підприємства. Це динамічна модель представляється у матричній формі і може бути достатньо глибоко і деталізованою. Балансові моделі є основою розв'язання задач оцінки завантаження потужностей виробничо-технологічної системи гірничодобувного підприємства і прогнозування фінансових показників її роботи.

Моделлю найвищого рівня є модель об'ємно-календарного планування. За цією моделлю весь плановий період розбивається на часові періоди, але структура виробництва не подрібнюється до самих робочих місць. За цієї моделлю розробляється технологічний граф виробництва і за періодами та розподілом лімітованих ресурсів за виробничими підрозділами.

Результатом розв'язання задачі об'ємно-календарного планування є закріплення операцій за ділянками виробничої системи шахти в задані дискретні інтервали часу. Мета розв'язання задачі об'ємно-календарного планування полягає у розподілі обсягів виробництва і витрат ресурсів у часі, що забезпечує у подальшому розв'язання задачі календарного планування.

Розробка автоматизованих систем управління завжди стикається з такою складністю. З одного боку розробники таких систем мають певні можливості, які визначаються наявністю комп'ютерної техніки, засобів розробки програм, методичного забезпечення розв'язання задач відповідного характеру, наявності спеціалістів належного рівня, кваліфікації і напрямів. З іншого боку вони стикаються з певними обмеженнями, які описані далі.

Розробка програмного забезпечення АММ полягає у розв'язанні двох базових задач: задачі обробки даних; задачі прийняття управлінських рішень. Всі інші задачі є похідними від розв'язання цих задач [9, 10].

Обробка даних принципово може бути автоматизована незалежно від того, у яких саме сферах управління вона необхідна (адміністративній, організаційній, технологічній, економічній). Разом із тим можливості розв'язання задач автоматизації процесів прийняття управлінських рішень є доволі обмеженими. Це обумовлене тим, що за сучасним рівнем інтелектуалізації автоматизованих систем вони поки не можуть повністю замінити людину-фахівця з управління. Автоматизовані системи прийняття рішень поки можуть використовуватись тільки у якості засобів надання об'єктивної і певним чином систематизованої інформації для прийняття рішення людиною, а також як консультант, який може запропонувати певні варіанти рішень, але остаточне рішення приймає людина.

Такі можливості мають «Автоматизовані системи підтримки прийняття рішень», які поки не можна вважати достатньо методично підготовленими для самостійного прийняття ними управлінських рішень. Принципово на даний час можуть бути автоматизовані такі функції управління: пошук і передача документації; рішення окремих класів задач проектування і технологічного нормування, календарного планування, обліку і контролю, складання звітностей, прогнозування техніко-економічних показників виробництва.

Висновки та напрямок подальших досліджень. На основі викладеного вище матеріалу можна зробити такі висновки:

1. Одним із найбільш важливих напрямків подальшого розвитку вітчизняного підземного залізрудного гірничодобувного виробництва є автоматизація управління виробничим процесом на шахтах. На даний час впровадження таких систем стикається із серйозною проблемою, яка полягає у відсутності розробки необхідного методичного, програмного, організаційного і технічного забезпечення таких систем управління, яке враховує специфіку технології і умов функціонування залізрудних шахт.

2. Авторами визначені основні причини, які ускладнюють розробку і впровадження повнофункціональних автоматизованих систем управління виробничим процесом (АСУВП) в практику підземного залізрудного гірничодобувного виробництва, до яких відносяться складні геотехнічні і економічні умови здійснення виробничого процесу та високий вплив стохастичних факторів на технологічні, технічні і організаційні рішення виконання цього процесу, який є

дуже специфічним для кожного підземного гірничодобувного підприємства.

3. До основних задач управління виробничим процесом на залізорудних шахтах відповідно до принципів Демінга-Шухарта, є: розробка обґрунтованого плану виробничого процесу на задані періоди часу; розробка проектів основних виробничих об'єктів шахт, які постійно змінюють своє місце і параметри відповідно до конкретних гірничотехнічних умов їх функціонування; проектно-технологічна підготовка виробництва (розробка плану організації робіт) при високій стохастичності факторів, які впливають на його виконання; контроль виконання виробничого процесу за його плановими параметрами; техніко-техніко-економічний аналіз результатів виконання процесу; прийняття рішень про подальший розвиток виробництва на основі результатів цього аналізу. Можливості розв'язання всіх цих задач повинні бути закладені у АСУВП.

4. Авторами розроблена модель виробничого процесу на залізорудних шахтах і модель структури системи управління цим процесом з визначенням управлінських зв'язків і її елементами. Ці моделі повинні бути покладені в основу структури АСУВП.

5. Подальшим напрямом робіт з вказаного напрямку є розробка АСУВП управління виробничим процесом для конкретних вітчизняних залізорудних шахтах.

Список літератури

1. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. М.: РИА «Стандарты и качество», 2008. 408 с.
2. O'Leary, Daniel L. Enterprise resource planning systems. Cambridge University Press, 2000. 232 с.
3. Системы поддержки принятия решений / В. Г. Халин, Г. В. Черновой. М.: Юрайт, 2015. 494 с.
4. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки». Відомості Верховної Ради України, 2001, №15. С.73.
5. Колесников А.А., Веселов Г.Е., Попов А.Н., Кузьменко А.А., Погорелов М.Е., Кондоратьев И.В. Синергетические методы управления сложными системами. – М.: Либроком, 2013. 248 с.
6. Моделирование и управление горнодобывающими предприятиями / С.Л. Каграмян, А.С. Давидкович. М.: Недра, 1989. 360 с.
7. Кирсанов М.Н. Графы в Maple. М.: Физматлит, 2007. 168 с.
8. Афанасьев Н., Селезнева Г. Планування і контроль на підприємстві. К.: Инжэк, 2012. 448 с.
9. Іванюта П.В. Управлінські інформаційні системи в аналізі та аудита. К.: ЦНЛ. 2007. 270 с.
10. Косинський В.І. Сучасні інформаційні технології. К.: Знання, 2012. 317 с.

Рукопис подано до редакції 05.04.2019

УДК[622.34:622.232]:622.012

І.П.КУШНЕРЬОВ, Ю.Ю.КРИВЕНКО, кандидати техн. наук, доценти
Криворізький національний університет

ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВІДПРАЦЮВАННЯ ПОТУЖНИХ КРУТОСПАДНИХ РУДНИХ ПОКЛАДІВ НА ГЛИБОКИХ ГОРИЗОНТАХ

Мета. Удосконалення систем розробки з відкритим очисним простором шляхом активного впливу по забезпеченню стійкості оголень порід та застосування високопродуктивної техніки, що дає можливість впроваджувати їх на глибоких гориizontах шахт, збільшувати камерні запаси в блоці і, таким чином, покращувати показники добування корисних копалин.

Методи досліджень. Аналіз існуючих технологій виймання рудних покладів, узагальнення результатів досліджень деформаційних процесів та стійкості оголень порід, теоретичне та практичне встановлення параметрів очисного виймання рудних покладів на глибоких горизонтах у єднанні з самохідним обладнанням для розробки нових технологій.

Наукова новизна. Обґрунтовані необхідність та можливість застосування камерних систем розробки на глибоких горизонтах рудних шахт. Вперше встановлені залежності, які пов'язують інтенсивність випуску та доставки рудної маси з параметрами під поверхово-камерної системи розробки та часом відпрацювання запасів камер та тимчасових стелін. Результати дослідів використані при розробці основ технології виймання рудних покладів в умовах активної дії гірського тиску.

Практична значимість. Розроблена інноваційна технологічна схема очисного виймання потужних крутоспадних рудних покладів та керування рудооточуючим масивом порід на глибоких горизонтах розширює область застосування камерних систем розробки, дозволяє значно знизити втрати корисних копалин на виймковій ділянці та підвищити ефективність добування руд.

Результати. Виконано аналіз сучасного стану застосування камерних систем розробки рудних покладів на досягнутих глибинах шахт. Встановлені залежності, які пов'язують інтенсивність випуску та доставки рудної маси з

параметрами під поверхово-камерної системи розробки та часом відпрацювання запасів блоку. Розроблена інноваційна технологічна схема очисного виймання потужних крутоспадних рудних покладів та керування рудовміщачим масивом порядком виймання запасів очисного блоку на глибоких горизонтах. Запропонований варіант під поверхово-камерної системи розробки запасів виймкової одиниці дає можливість за рахунок високопродуктивної самохідної техніки на очисних процесах підвищити у 1,5...2 рази навантаження на очисний вибій, знизити час стояння конструктивних елементів систем розробки та втрати рудної маси з підвищенням її якості на 5...10% і більше шляхом випуску чистої руди з камер та тимчасових стелин. Також на 5...8% зменшується собівартість видобутку руди при її очисному вийманні.

Ключові слова: рудні поклади, камерна система, стійкість, тимчасові цілики, схема відпрацювання.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-52-58

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Відпрацювання запасів корисних копалин на глибоких горизонтах шахт спряжене з активними негативними проявами гірського тиску у різних формах, що значно погіршує показники добування. Особливо це актуально при очисному вийманні руд камерними системами розробки, при яких ці динамічні явища тягнуть за собою зменшення запасів очисних камер паралельно зі збільшенням параметрів різного роду ціликів, а також втрату технологічних виробок та контурів вибухових свердловин в очисному блоці. Встановлено, що гірський тиск збільшується прямо пропорційно пониженню гірничих робіт. Тобто, з глибиною розробки напружений стан руд і оточуючих порід та деформаційні процеси в них зростають і це негативно позначається на стійкості оголень порід. Крім цього, на розміри камер і ціликів значно впливають їх термін існування (експлуатації). Таким чином, запаси руди перерозподіляються із камерних в цілики, тим самим погіршуючи показники виймання по системі розробки. Але ж відомо, що камерні системи розробки є більш ефективними у порівнянні з системами з обваленням за рахунок того, що більш ніж 30% балансових запасів виймальної одиниці випускаються практично чистими. Обов'язковою умовою застосування систем розробки з відкритим очисним простором - це природна стійкість руд і оточуючих порід, або ж розробка та впровадження інноваційних технологічних і технічних рішень по підвищенню стійкості оголень конструктивних елементів системи розробки та зменшення часу їх експлуатації.

Аналіз досліджень і публікацій. Пошуку та удосконаленню систем розробки з відкритим очисним простором присвячена значна кількість досліджень [1-4]. Вони, як правило, направлені на розробку нових варіантів систем, удосконаленню існуючих, визначенню ефективних параметрів процесів очисного виймання та конструктивних розмірів підземних конструкцій, способів проведення підготовчо-нарізних виробок та ін. [5-7]. Результати досліджень для камерних систем розробки рудних покладів Криворізького басейну приведені в роботах [8-10], де наведені основні наукові та практичні передумови та викладання щодо підвищення їх ефективності. Приведені технологічні схеми відпрацювання багатих та бідних залізних руд, які дозволяють спростити конструкцію систем розробки. Також виконано удосконалення методу розрахункових функціональних характеристик врахуванням впливу кута падіння, коефіцієнта міцності на стійкість оголень, виявленням взаємозв'язку між параметрами оголень та засміченням рудної маси. В роботі [11] автором розроблено принципову розрахункову схему для визначення параметрів відбійки за приведеними формулами в контурах криволінійних трикутників на пірамідальній компенсаційній простір вибуховими речовинами типу акваніти [12]. Відома технологічна схема розробки потужних покладів стійких руд зі слабостійкими оточуючими породами камерними системами з формуванням підпірного цілика в камері для підтримки порід всячого боку [13]. Недоліком цього способу є те, що формування тимчасового цілика забезпечує підтримку тільки слабостійких порід всячого боку у місці його утворення. При цьому не забезпечується стійкість слабостійких порід лежачого боку та й довготривалих прогонів в очисній камері по всячому боку. Збільшені за цим способом параметри конструктивних елементів системи розробки та тривалий час стояння оголень порід в камерах можуть привести до передчасного обвалення оточуючих порід в камеру і, як наслідок, значному погіршенню умов виймання блоку та техніко-економічних показників вилучення рудної маси.

Автори винаходу [14] розробили спосіб зниження впливу гірського тиску на конструктивні елементи системи розробки, який передбачає те, що при проведенні виробок днища блока і підповерхів у налягаючих породах проходять буровий штрек. З останнього паралельно контакту покладу на похилу поверхню, яку визначають зоною опорного тиску, вибувають висхідні та

низхідні свердловини великого діаметра з залишенням ціликів між ними. Причому відстань між свердловинами відповідає такій величині, яка обумовлює руйнування ціликів під дією сприятливих навантажень для компенсування активного зміщення гірських порід у конструктивних елементах системи розробки. Ідея застосування самохідної техніки на виробничих процесах при камерній системі розробки з перепуском обвалених порід у порожнину камери та покрововим руйнуванням стелини з урахуванням часу відпрацювання запасів блоку запропоновано в роботі [15]. Але така технологія потребує значного удосконалення щодо виймання запасів камери і ціликів та взаємопов'язання їх параметрів з часом експлуатації конструктивних елементів системи розробки.

Постановка завдання. Виконаний аналіз та узагальнення наукових робіт показує, що мало досліджень виконано щодо можливості застосування камерних систем і в подальшому на глибоких горизонтах ряду рудних шахт. Недостатньо нових заходів по підвищенню стійкості оголень в камерах та ціликів, зниженню тривалості існування підземних конструкцій за рахунок інтенсифікації випуску та доставки рудної маси і покращенню показників вилучення її при цьому. Майже немає досліджень по розробці та впровадженню інноваційних технологій із застосуванням на глибоких горизонтах новітньої високопродуктивної закордонної та вітчизняної техніки на основних та допоміжних процесах очисного виймання корисних копалин. Практика показує, що на досягнутих глибинах на шахтах за умов незабезпечення стійкості конструктивних елементів існує відмова від ефективних камерних систем розробки на користь систем з обваленням, які гірші за показниками вилучення рудної маси. В той же час на ринку рудної сировини стали жорсткішими вимоги з якості складу продукції із зменшенням шкідливих домішок у рудній масі. Тому розробка технологічних схем відпрацювання рудних покладів на глибоких горизонтах шляхом взаємопов'язання визначених параметрів технологій та очисного високопродуктивного обладнання, що забезпечує зниження витрат на підготовчо-очисні роботи, безпечні умови та інтенсифікацію відробки покладів з мінімальним часом існування підземних конструкцій і зменшення витрат та засмічення рудної маси в очисних блоках є актуальною задачею.

Викладення матеріалу та результати. Нами виконано великий обсяг досліджень по створенню нової технологічної схеми відпрацювання потужних крутоспадних рудних покладів на глибоких горизонтах шахт. Сутність її полягає в запропонованому порядку виймання запасів очисного блоку, конструктивному побудуванні системи розробки та визначенні параметрів камер і ціликів шляхом взаємопов'язування інтенсивності одночасного виймання запасів камер і потім підтримуючих тимчасових стелин у поверсі з їх конструктивними розмірами, забезпеченні стійкості оголень у виробленому просторі тимчасовими підповерховими ціликами при єдиній міжповерховій стелині. Наочно технологічний порядок виймання запасів блоку ілюструється кресленнями (рис. 1-5).

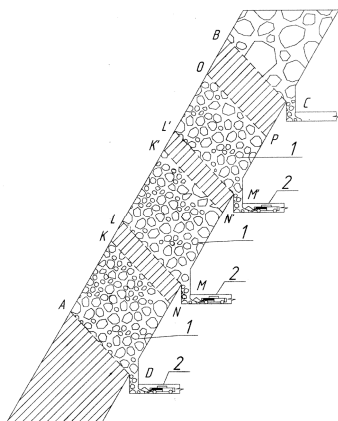


Рис. 1. Вертикальна проекція навхрест простягання покладу з обваленими запасами камер та залишеними тимчасовими підтримуючими ціликами та міжповерховою стелиною

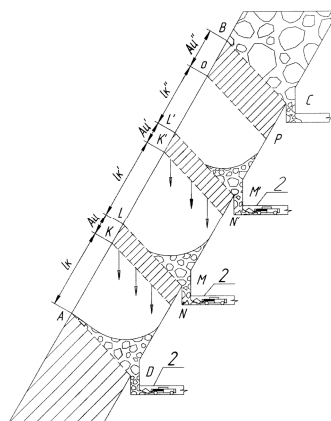


Рис. 2. Вертикальна проекція покладу з відпрацьованими камерами та направленням відбілки тимчасових стелин

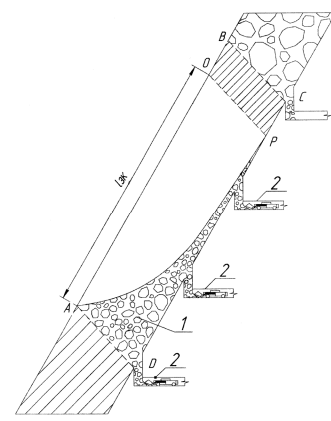


Рис. 3. Випуск рудної маси запасів обвалених стелин

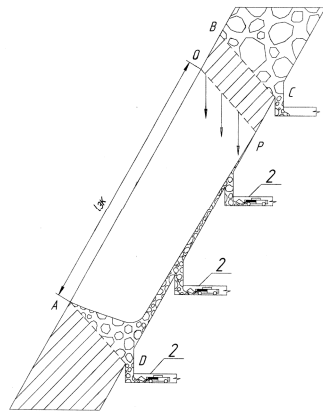


Рис. 4. Стадія обвалення між поверхової стелини у порожнину камери

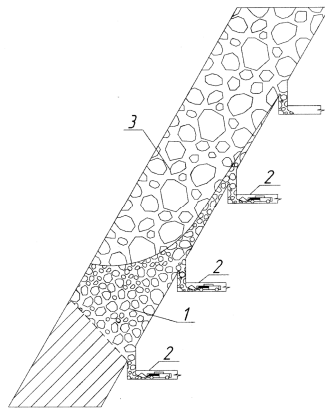


Рис. 5. Випуск обвалених запасів стелини під налягаючими породами

Практично запропонована технологічна схема виконується таким чином. Потужний крутоспадний поклад корисних копалин відпрацьовують камерними системами розробки з поділенням блока на три камери за падінням із залишенням тимчасових підповерхових підтримуючих оголення ціликів та єдиної для поверху стелини. Запаси блока ABCD поділяють на підповерхові камери AKND, LK'N'M, L'OPM', тимчасові цілики KLMN, K'L'M'N' та стелину ОВСП (рис. 1, 2). Розміри ціликів та камер розрахунками пов'язуються з інтенсивністю випуску обваленої

руди та визначаються за запропонованими нижче формулами.

Підготовку та нарізку блока виконують шляхом проведення спіральних з'їздів, блокових підняткових, бурових підповерхових штреків та доставочних ортів і інших господарчих виробок. У трьох підповерхових камерах розбурюють рудний масив, виконують похилі компенсаційні камери та обвалюють руду із залишенням тимчасових підтримуючих оточуючі породи підповерхових ціликів KLMN та K'L'M'N' і єдиної для всіх підповерхів стелини ОВСП. Стійкі розміри тимчасових стелин та підповерхових камер визначають диференційовано в залежності від інтенсивності випуску обвалених запасів з виразів

$$A_{ц}^t = A_{ц} (Q_{ц} \Pi^{-1})^s, \quad (1)$$

де $A_{ц}^t$ – граничне значення розрахункової характеристики для визначання параметрів ціликів, строк існування яких дорівнює $t_{міс}$; $A_{ц}$ – теж саме, при $t=1$ міс

$$l_{к}^t = l_{к} (Q_{к} \Pi^{-1})^g, \quad (2)$$

де $l_{ц}^t$ – граничний еквівалентний прогін горизонтального (похилого) оголення в камері з часом існування $t_{міс}$; $l_{к}$ – теж саме, що при $t=1$ міс.; S, g – відповідно емпіричні коефіцієнти, які враховують час відпрацювання камер та реологічні властивості корисних копалин; $Q_{ц}, Q_{к}$ – відносно запаси цілика та камери, т; Π – продуктивність виймальної техніки, т/міс.

Характеристики $A_{ц}$ та $l_{к}$ визначаються за методиками, наприклад, [16]. Причому, розміри камер $l_{к}, l'_{к}, l''_{к}$ і ціликів $A'_{ц}, A''_{ц}, A_{ц}$ варіюється з глибиною закладення камер і ціликів. Відбиту рудну масу l випускають та доставляють самохідним обладнанням 2. Після випуску камерних запасів обвалюють тимчасові цілики KLMN та K'L'M'N' у порожнини камери та інтенсивно випускають з мінімальним часом стояння загального прогону камери $l_{зк}$, який було розраховано згідно викладених виразів без підтримуючих ціликів (рис.3). Після випуску обвалених запасів тимчасових ціликів обвалюють стелину ОВСП та випускають її запаси під налягаючими породами 3 (рис. 4, 5).

Конструктивно-технологічна будова під поверхово-камерної системи розробки в залежності від представленого вище технологічного порядку відпрацювання очисного блоку показана на рис. 6, 7.

Сутність її полягає в наступному. Потужне крутоспадне рудне родовище розкривається за допомогою стволів та похилих з'їздів. Підготовка шахтового поля – поверхова з поділенням поверхів на три підповерхи. Блок за простяганням поділяється на камери та між камерні цілики. Параметри міжкамерних ціликів та прогонів камер за простяганням також приймаються з урахуванням часу їх існування. Форма та розміри між камерного цілика визначаються стійкістю рудного масиву та оточуючих порід і регламентують вплив на показники добування при його відпрацюванні та за системою в цілому.

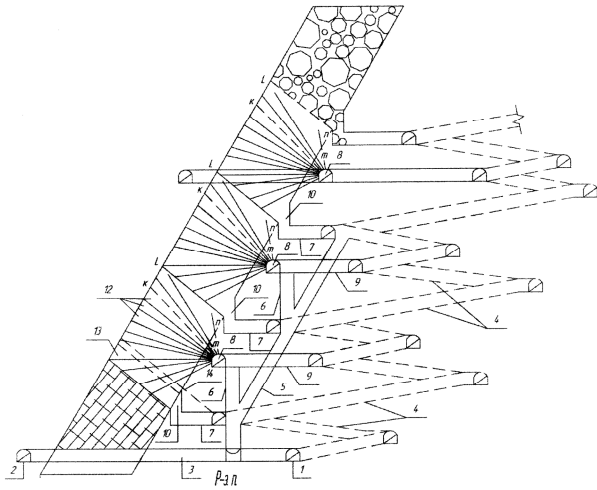


Рис.6. Під поверхво-камерна система розробки рудного покладу у проекції навхрест простягання

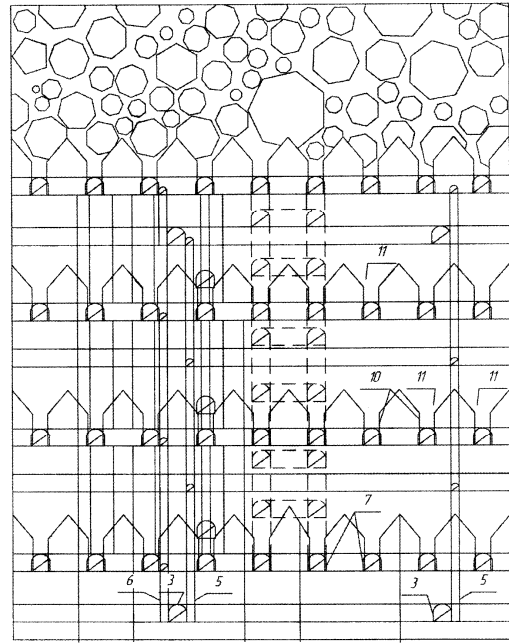


Рис.7. Конструктивні елементи під поверхво-камерної системи розробки покладу у проекції за простяганням

Існують численні методика розрахунку параметрів конструктивних елементів системи розробки. Але вони не завжди враховують працездатність ціликів з урахуванням реологічних властивостей порід та в умовах змінення полів напружень. Виходячи з теорії акад. Шевякова Л.Д., інтерпретації характеру напружено-деформованого стану налягаючих порід та тривалості їх взаємодії з підземними конструкціями, розміри між камерного цілика можливо визначити з рівняння

$$A_1 a^3 - B_1 a^2 - C_1 a - D = 0, \quad (3)$$

де $A_1 = 4A$; $B_1 = 4B$; $C_1 = 5Bl_k$; $D = Bl_k^2$ – для ціликів з відношенням його довжини(висоти) до ширини, яке дорівнює 4. Прийнято: $A = \sigma_{cm} / m_z$; $B = \gamma H(\text{tg}\alpha + \lambda)n_i$; $C = \gamma H(\text{tg}\alpha + \lambda)n_i l_k$, де γ – середня об'ємна вага налягаючих порід, Мн/м^3 ; H – глибина до горизонтальної вісі цілика, м; a , l_k – відповідно, ширина цілика та прогін камери за простяганням, м; λ – коефіцієнт бокового розпіру; α – кут падіння покладу, град; σ_{cm} – тривала межа міцності на одновісне стискання, МПа; n_i – тривалий запас міцності цілика. Його можливо визначити з формули

$$t = [(n_i - 1) k_\phi^{-1}]^{1/m}, \quad (4)$$

де t – заданий строк існування цілика, міс.; k_ϕ – коефіцієнт форми цілика; m – реологічний коефіцієнт, який характеризує зміну властивостей та стан гірських порід з часом.

Вкажемо, що формули (3, 4) приведені для форми цілика з відношенням для вигляду $a m_z^{-1} > 1$, при $k_\phi = a m_z^{-1}$. Якщо в результаті розрахунків буде встановлено, що величина відношення ширини цілика до його висоти виявиться меншою, або дорівнюватиме 1, то послідовність визначень треба приймати для відношення розмірів, яке характеризується $k_\phi = (a m_z^{-1})^{0.5}$.

Між камерами за падінням залишаються тимчасові підтримуючі стелени KLMN. Їх розміри можливо визначити за методиками, наприклад (16, 17), але з поправками на час експлуатації: тимчасові підтримуючі – на строк відпрацювання однієї камери (підповерху), а міжповерхова стелена – на період експлуатації блоку.

Підготовка запасів блока виконується за допомогою штреків 1, 2, ортів 3, з'їздів 4, похилих блокових підняткових 5 та вертикальних рудо звальних 6 (рис.6, 7). Проходять доставочні орти під самохідну техніку 7 та бурові штреки 8 для одночасного розбурювання запасів камер, ціликів. Зі з'їздами 4 з'єднуються штреки 1, доставочні орти 7 та за допомогою ортів 9 бурові штреки 8. Утворюються дучки 10 з розширенням їх у воронки 11. З бурових 8 згідно з параметрами буро вибухових робіт розбурюється свердловинами 12 рудний масив у межах під поверхових камер та стелин KLMN. Утворюється похилий компенсаційний простір шляхом проведення похилого підняткового і його збільшення пристрілюванням свердловин 14 та розширення по горизонталі і вертикалі у межах камер. Виконується заряджання свердловин у контурах камер-

ного запасу та їх підривання на утворені компенсаційні простори. Випуск обваленої чистої рудної маси ведеться з усіх камер. По випуску заряджаються свердловини у контурах тимчасових міжкамерних стелин, їх підривання та прискорений випуск та доставку цих запасів високопродуктивною самохідною технікою. В останню чергу вибухівку розташовують у свердловинах масиву міжповерхового цілика, обвалюють його запаси та випускають рудну масу під обваленими налягаючими породами з гіршими показниками ніж запаси камер та тимчасових підтримуючих стелин.

У запропонованій технології застосовується високопродуктивне самохідне обладнання на основних та допоміжних процесах очисного виймання. Так, підняттяві доцільно проходити за допомогою бурового комбайна RHINO або ж ROBBINS, що сприятиме зростанню продуктивності праці та підвищенню безпеки, оскільки цей спосіб проведення не потребує присутності людей у вибої. Як було вказано вище, застосування навантажувально-доставочних машин (НДМ) на доставці рудної маси на підповерхах дає можливість збільшити продуктивність (навантаження на очисний вибій) у 1,5-2 рази і більше, що сприяє зменшенню строків експлуатації конструктивних елементів системи розробки. Таким чином, можливо збільшити камерний запас при зменшенні розмірів ціликів. Крім цього, відмова від традиційної скреперної схеми доставки на користь НДМ дає можливість збільшити розмір блоку за простяганням у 1,5-1,8 рази при забезпеченні стійкості оголень в камерах. Для проходу на підповерхи самохідної техніки в породах лежачого боку проходять похилі з'їзди 4 (у розрахунку один такий з'їзд на кожне крило шахти). Негативним є те, що запроєктована схема потребує проведення додаткових виробок для провітрювання забрудненого самохідною технікою повітря. Але прорахунками встановлено, що питома вага підготовчо-нарізних виробок при цьому у порівнянні з іншими схемами є нижчою за рахунок збільшених розмірів виймальної одиниці.

Висновки та напрямок подальших досліджень. У зв'язку з активними негативними проявами гірського тиску на великих глибинах розробки рудних покладів шахт Криворізького басейну ефективне застосування камерних систем стає все більш проблематичним: камерні запаси зменшуються зі збільшенням запасів в ціликах. Перехід до систем підповерхового обвалення тягне погіршення показників добування і, в цілому, знижує ефективність очисного виймання руд. Розроблена інноваційна технологічна схема очисного виймання потужних крутоспадних рудних покладів та керування рудооточуючим масивом порід на глибоких горизонтах розширює область застосування камерних систем розробки, дозволяє значно знизити втрати корисних копалин на виїмковій ділянці та підвищити ефективність добування руд. Вперше встановлені залежності, які пов'язують інтенсивність випуску та доставки рудної маси з параметрами під поверхово-камерної системи розробки та часом відпрацювання запасів камер та тимчасових стелин. Запропонована конструктивно-технологічна під поверхово-камерна система розробки запасів виїмкової одиниці дає можливість за рахунок високопродуктивної самохідної техніки на очисних процесах підвищити у 1,5...2 рази навантаження на очисний вибій, знизити час стояння конструктивних елементів систем розробки та втрати рудної маси з підвищенням її якості на 5...10% і більше шляхом випуску чистої руди з камер та тимчасових стелин. Також на 5...8% зменшується собівартість видобутку руди при її очисному вийманні. Подальші дослідження направлені на удосконалення технологічних схем відпрацювання запасів рудних покладів на глибоких горизонтах шахт, встановлення раціональних співвідношень геометричних розмірів конструктивних елементів системи розробки з типорозмірами самохідної гео техніки за ефективністю добування.

Список літератури

1. Системы разработки для подземных рудников Криворожского бассейна (типовые паспорта). - Кривой Рог, НИГРИ, 1986 - 76 с.
2. Патент на корисну модель №38406, Україна. Спосіб підземної розробки похилих родовищ корисних копалин. **Кушнерьов І.П., Кривенко Ю.Ю.** // № заявки u200810803, заявл. 01.09.2008, опубл. 12.01.2009. Бюл. №1.
3. **Жуков В.В.** Расчет элементов системы разработки по фактору прочности. - М.: Наука, 1977. - 205 с.
4. **Кушнерьов І.П., Кривенко Ю.Ю.** Удосконалення технології відпрацювання рудних покладів камерними системами на глибоких горизонтах. Вісник КНУ, вип. 30, 2012, с. 23-26.
5. **Кушнерьов І.П., Кривенко Ю.Ю.** Технологія відпрацювання потужних крутоспадних рудних покладів. Вісник Криворізького національного університету, вип. 45, 2017, с. 47-50.
6. **Ветров С.В.** Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд. - М.: Наука, 1975. - 230 с.

7. Лавриненко В. Ф., Лысак В. И. Перспективы применения камерных систем разработки на больших глубинах// Разраб. рудн. месторожд. – К.: Техніка, 1978. – Вып. 26. – С. 50-56.
8. Цариковський В.В., Цариковський Вал.В., Ляшенко В.І. Підвищення ефективності камерних систем розробки родовищ на шахтах Кривбасу. *Металлургическая и горнорудная промышленность-2011*, №1-с.82-88.
9. Капленко Ю. П., Цариковский Вал. В. Влияние напряженного состояния горного массива и горно-геологических условий на параметры обнажений и форму очистных камер. *Разработка рудных месторождений. Кривой Рог. 2005*, вып. 88, с. 21-24.
10. Петренко П. Д., Ступник Н. И., Потапенко Б. С., Зиненко В. А. Оптимальные конструктивные параметры камерных систем разработки// *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1986. – № 3. – С. 48-50.
11. Кушнерёв И. П. Совершенствование технологии выемки рудных залежей на глубоких горизонтах. *Разр. рудн. м-й. -вып. 88, 2005, с.39-41.*
12. А.С.СССР №1642005, кл.Е21С341/16. Способ разработки рудных залежей/ Кушнерёв И.П., Абашин П.А., Терещенко О.А.//№ заявки 4698180, заявл. 31.03.1989, опубл. 15.04.1991.Бюл. №14.
13. А.С. СССР № 1723324, кл. Е 21 С 41/16. Способ разработки мощных залежей крепких руд с неустойчивыми породами/ В. М. Кучер, А. А. Суковач, В. М. Погребной, Ю. Ю. Кривенко, И. П. Кушнерёв и В. М. Тарасютин. – № 950917; Заявл. 26.12.89; Опубл. 30.03.92. – Бюл. № 12. – 4 с.
14. Патент 44520. Україна. Е21F 17/00. Спосіб зниження впливу гірського тиску на конструктивні елементи системи розробки/ І. П. Кушнерьов, Ю. Ю. Кривенко. – Заявл. 06.04.2009; Опубл. 12.10.2009. – Бюл. № 19. – 3 с.
15. Пирха О. Ю., Кушнерьов І.П. Розробка ефективної технології відпрацювання рудних покладів на глибоких горизонтах Криворізького басейну. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Гірничо-металургійний комплекс: досягнення, проблеми та перспективи розвитку» Кривий Ріг, 2010. - с. 12-13.
16. Определение и контроль допустимых размеров конструктивных элементов систем разработки на рудниках Кривбасса/ Цариковский В В., Сакович В. В., Недзвецкий А. В. – Кривой Рог: НИГРИ, 1987. – 75 с.
17. Баранов А. О. Расчет параметров технологических процессов подземной добычи руд. М.: Недра, 1985.-224с

Рукопис подано до редакції 05.04.2019

УДК 681.518

М.В. КІЯНОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., Н.В. ДЕМІДА, магістрант
Криворізький національний університет

СТАБІЛІЗАЦІЯ ПОЛОЖЕННЯ ОСІ РОБОЧОГО ОРГАНУ РОТОРНОЇ МАШИНИ ПРИ РІЗНИХ СТУПЕНЯХ НАВАНТАЖЕННЯ ОПОР КОВЗАННЯ

Мета. Метою даної роботи є проблема забезпечення суміщення осей елементів роторних механізмів, а саме ротора та опор ковзання за рахунок застосування підшипника зі спеціальною формою вкладки підшипникової опори.

Методи дослідження. Результати роботи отримані шляхом теоретичних досліджень. Теоретичні дослідження полягають у аналізі кривизни траєкторії переміщення центру обертання ротора в опорах, які впливають на зміщення осі обертання ротора від осі підшипника ковзання, так званий ексцентриситет. Ексцентриситет виникає при русі роторних машин під дією динамічних сил. В результаті такі динамічні сили викликають великі, часом дуже суттєві, навантаження та створюють додаткові напруження у таких кінематичних парах, як ротор та підшипник ковзання, а також збільшують тертя і знос їх елементів.

Наукова новизна. Було визначено, що на сьогоднішній день не існує такої конструкції підшипників ковзання, яка б в повній мірі сприятиме стабілізації положення осі ротору в опорах ковзання. Тому дане питання потребує нових теоретичних і експериментальних досліджень при створенні принципово нових конструкцій підшипників, які зможуть сприяти зменшенню величини ексцентриситету, не допускаючи негативних явищ на підшипник при різних ступенях навантаження.

Практичне значення. Виконаний аналіз конструкцій підшипників ковзання дає можливість визначення напрямків модернізації та вдосконалення засобів виробництва на базі застосування новітніх досягнень розробок.

Результати. В результаті проведеного аналізу було визначено, що для зменшення величини ексцентриситету пропонується змінити кривизну траєкторії переміщення центру обертання ротора, при зміні навантаження на підшипник, за рахунок зміни кривизни опорної поверхні підшипника у місці виникнення клинового зазору. Таким чином зміститься положення клинового зазору, що забезпечить як «підйом» ротора, так і його шлях по новій зміщеній траєкторії, тому ексцентриситет дорівнюватиме мінімально-му значенню. Регулювання кривизни опорної поверхні підшипника сприятиме стабілізації положення осі ротору в опорах ковзання.

Ключові слова: ротор, підшипник ковзання, стабілізація, ексцентриситет, навантаження, надійність

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-58-62

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В даний час однією з найважливіших задач сучасного машинобудування залишається проблема зміщення осі обер-

тання ротора від осі підшипника ковзання, так званий ексцентриситет, який виникає при русі роторних машин під дією динамічних сил. Під час роботи машин, ланки їх механізмів рухаються з прискоренням, в результаті чого виникають динамічні сили (сили інерції), які викликають великі, часом дуже суттєві, навантаження та створюють додаткові напруження у таких кінематичних парах, як ротор та підшипник ковзання, а також збільшують тертя і знос їх елементів [1]. При перенавантаженнях чи досягненні граничного зношення поверхонь тертя підшипника ковзання відбувається зміщення осі ротора від осі підшипника, що спричиняє збільшення амплітуд автоколивань, порушується режим нормального мащення і рідинне тертя переходить в граничне або навіть сухе. Це приводить до різкого підвищення температури і зниження в'язкості мастила. У сполученні створюються сприятливі умови для інтенсивного розвитку різних видів зношення, і в першу чергу зношення унаслідок заїдання [2].

Значне збільшення зазорів приводить до появи ударних навантажень, які також сприяють збільшенню швидкості зношення, або навіть до поломок окремих деталей і виходу машини з ладу [3].

Вказані фактори значною мірою впливають на надійну роботу роторної машини, зменшуючи її експлуатаційний термін. Таким чином, вивченню впливу ексцентриситету на параметри машини необхідно приділити значну увагу.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблемами стабілізації положення головної осі ротора з віссю його обертання, впливу цього параметру на зниження механічних коливань займались Ройзман В.П., Драч І.В., Філімоніхін Г.Б., Гусаров А.О та ін. Задача балансування роторів являється класичною інженерною задачею. Як відомо, дисбаланс ротора визначається зміщенням центра мас і власної осі інерції від осі обертання. При обертанні ротора виникають періодичні сили, які на великих швидкостях досягають великих значень і можуть привести до руйнування підшипникових опор [4]. У багатьох наукових працях правильне положення осі ротору відносно осі опор ковзання машин здійснюється шляхом автоматичного балансування за допомогою пристроїв з вільним переміщенням коригуючих мас [5]. Вони мають вигляд порожнистої камери, частково заповненої робочими тілами (рідиною, сипучими тілами) і є пасивними регуляторами прямої дії, що не потребують підводу енергії та системи керування для переміщення коригуючих мас [6].

Постановка завдання. Основною задачею цієї статті є дослідження динаміки деталей роторних машин, а саме забезпечення стабілізації положення осі ротора відносно осі опори ковзання, враховуючи різного роду навантаження в механізмі.

Виклад матеріалу і результати. Сутність вивчення проблеми полягає в детальному аналізі підшипників ковзання, характерним для них динамічним процесам, які істотно впливають на особливості ексцентриситету.

Підшипники ковзання є невід'ємною частиною багатьох великих і дуже відповідальних агрегатів, вони широко застосовуються в енергетичному обладнанні, потужних насосах, компресорах, електродвигунах. Фізичні процеси, що протікають в підшипниках ковзання, достатньо складні і залежать від співвідношення багатьох зовнішніх і внутрішніх чинників [7].

В основному, всі виникаючі в процесі експлуатації проблеми стану підшипників ковзання можуть бути об'єднані в три групи. Це проблеми стану робочих поверхонь підшипника, проблеми величини зазору між жолобником ротора та антифрикційним вкладишем, а також проблеми несучої здатності шару мастила.

Умови створення несучого мастильного шару в підшипнику аналогічні гідродинамічним процесам, які виникають між площиною і пластиною, яка переміщується під деяким кутом до неї.

Коли зазор підшипника заповнений мастилом, а до валу прикладена сила P , то вал зміщується з центрального положення і утворює ексцентриситет ε між валом і отвором i , тим самим, клиновий зазор. При обертанні валу прилипає до нього мастило буде захоплюватися в клиновий зазор, стискатися у вузькому горлі зазору і створювати підйомну силу, яка утримує вал від контакту з підшипником. Визначення гідродинамічного тиску в масляному шарі в підшипнику є одним із завдань гідродинамічної теорії змащування. У клиновому мастильному зазорі розвивається гідродинамічний тиск p , який врівноважується навантаженням P , що діє на вал.

На рис.1 показані схеми розміщення валу в підшипнику: на початку його роботи (рис.1а) коли кутова швидкість валу ω ще близька до нуля, і в період сталого руху, коли кутова швид-

кість ω стає більше критичного значення, що відповідає переходу в режим рідинного тертя (рис.1б).

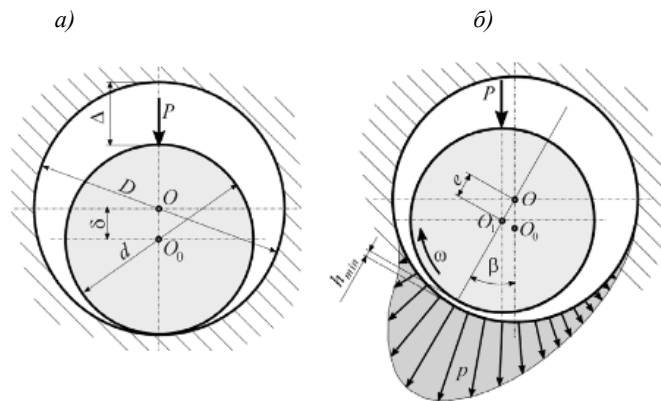


Рис.1. Положення валу в підшипнику: *a* – в стані спокою; *б* – при обертанні зі швидкістю

У випадку, зображеному на схемі рис.1а, центр O_0 валу лежить на лінії дії зовнішньої сили P на підшипник під його центром O , при цьому ексцентриситет $\varepsilon = OO_0$ дорівнює радіальному зазору в підшипнику δ

$$\varepsilon = \delta = \Delta / 2.$$

При зміні кутової швидкості центр валу відповідно змінює своє положення; траєкторія його руху в підшипнику

наближено дуга окружності. При $\omega \rightarrow \infty$ циліндричні поверхні валу, які труться, і підшипника стають майже концентричними, утворюючи постійний по колу кільцевий зазор, який дорівнює δ . Мінімальний зазор виникає в перетині, який зміщений на кут β , що розташовується між лінією центрів валу і підшипника і лінією дії навантаження P . Крім цього кута положення валу в підшипнику при гідродинамічному режимі повністю визначає ексцентриситет ε між зміщеними центрами O і O_1 . Якщо сталість зазору не підтримувати штучним шляхом, то вал опуститься під дією сили тяжіння. Тут в дію включається гідродинамічний ефект, який полягає в тому, що вал захоплюється за рахунок змочування мастилом і нагнітає його в клиновий зазор, який звужується у напрямку руху. При цьому всередині мастильного клину виникає додатковий тиск [8].

Несуча здатність мастильного клину підшипника ковзання, його основний експлуатаційний параметр стану, є складною нелінійною функцією від величини зазору між валом і антифрикційним вкладишем. Чим тонкіше шар мастила, тим вища несуча здатність підшипника. З іншого боку зниження шару мастила знижує стійкість підшипника до динамічних навантажень, стає вищою ймовірність механічного торкання валу щодо вкладиша.

Товщина клину є найбільшою в місці входу робочої поверхні обертового валу в несучу зону підшипника і мінімальна на виході з неї. Чим більше навантаження на підшипник, тим тонше ставатиме шар мастила, який несе радіальне навантаження.

Ротори агрегатів, які спираються на підшипники ковзання, при певних умовах можуть втратити стійкість і перейти в режим автоколивань в радіальному напрямку. Найбільш часто це відбувається при значному зменшенні навантаження валу ротора на підшипник, що може бути наслідком багатьох причин.

На рис.2 зображено поперечний переріз підшипника ковзання, для наочності в якому показані дуже великі зазори. Ротор, показаний на малюнку окружністю, виділеною потовщеною лінією, обертається в зазорі в напрямку за годинниковою стрілкою.

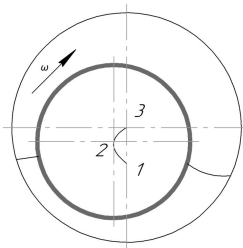


Рис.2. Зміщення положення центру валу щодо центру підшипника ковзання

При зміні навантаження на підшипник положення центру валу буде зміщуватися щодо центру підшипника, буде змінюватися робочий зазор в підшипнику. При зміні навантаження на підшипники від нуля до гранично допустимого, центр ротора опише лінію навантаження підшипника. На рисунку цифрами 1, 2 і 3 показані характерні точки траєкторії переміщення центру обертання ротора при зміні навантаження на підшипник.

Точка 3 відповідає повній відсутності навантаження на підшипник ковзання. Положення точки 1 відповідає такому максимальному навантаженню, коли резерви несучої здатності підшипника вичерпані повністю і почалися зачіпання ротора щодо вкладиша. Дуже важливим для розуміння динамічних процесів в підшипнику є перегин траєкторії в точці 2. Крива траєкторії переміщення центру валу цієї точки перегину 2 ділиться на дві різні за властивостями ділянки, на яких може розташовуватися робоча точка підшипника. Ділянка від точки 1 до точки 2 являє собою зону сталої роботи підшипника, коли відповідна силова реакція під-

шипника на збуджуючий імпульс навантаження однозначно відповідає величині цього імпульсу.

На ділянці від точки 2 до точки 3 картина динамічних процесів багато в чому інша. Внаслідок негативної кривизни траєкторії руху центру ротора тут існує так зване "перерегулювання" в реакції підшипника на зовнішні збудження. Явище «перерегулювання» виникає у відповідь на збуджуючий імпульс, наприклад, одиничної сили, відповідна реакція підшипника може бути рівним не одиниці, а, наприклад, двом. Ротор повернеться назад, але переміститься по траєкторії далі, ніж потрібно. Далі на ротор, який перемістився за точку рівноваги, знову буде діяти надмірний імпульс від мастильного шару підшипника, спрямований в бік точки встановленого режиму, але і це зусилля знову буде надмірним. В результаті ротор знову переміститься за точку рівноваги в початкову позицію, а найімовірніше і ще далі. Результатом цього явища стане нескінченне автоколивання ротора у мастильному клині щодо точки рівноваги [9].

Траєкторія руху валу в підшипниках є фактично встановленою, але досі не пропонується спосіб зменшення величини ексцентриситету, що суттєво впливає на стабілізацію положення осі валу в опорах ковзання. Виникає необхідність модернізувати підшипник кочення, змінюючи кривизну його опорної поверхні. На рис.3 представлені схеми поперечного перерізу підшипника при обертанні з описаними траєкторіями руху: підшипник до модернізації (рис.3а) та підшипник зі зміненою кривизною його несучої поверхні (рис.3б).

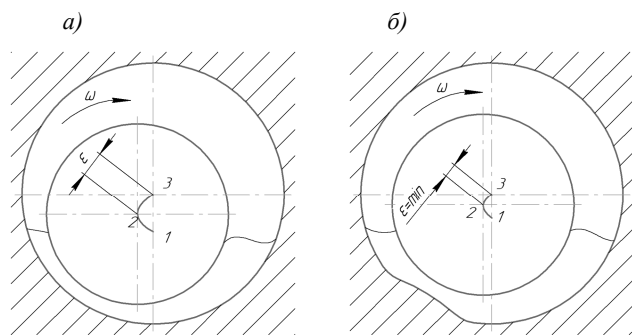


Рис.3. Змінення кривизни траєкторії руху ротору: *а* – підшипник до модернізації, *б* – підшипник зі зміненою кривизною його опорної поверхні

Аналіз траєкторії руху ротору по вихідним точкам узято з пояснення до рис.2. Крива показана експериментально та потребує подальших досліджень.

Рис. 3 дає нам можливість наочно бачити змінену лінію навантаження підшипника за рахунок змінення кривизни поверхні

опори ковзання, яка в повній мірі приводить до зменшення ексцентриситету, що також позитивно позначається на зниженні мастильних вібрацій [10].

В інших випадках зменшення частоти вібрації мастильного клину говорить про збільшення зазорів в підшипнику. Зазори в підшипниках ковзання завжди ретельно контролюються з усіх боків ротора, оскільки всі вони, а не тільки нижня частина вкладиша, в тій чи іншій мірі беруть участь в роботі. Зазор у верхній частині підшипника також дуже важливий для стабілізації положення ротора в зазорі підшипника.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Подальшому глибокому вивченню та аналізу, на базі досвіду наявних наукових праць, підлягає питання виникнення ексцентриситету внаслідок можливого впливу стану підшипника, зазорів в ньому, зміни частоти мастильної вібрації.

Для зменшення величини ексцентриситету ϵ пропонується змінити кривизну траєкторії переміщення центру обертання ротора, при зміні навантаження на підшипник, за рахунок зміни кривизни опорної поверхні підшипника у місці виникнення клинового зазору. Таким чином зміститься положення клинового зазору, що забезпечить як «підйом» ротора, так і його шлях по новій зміщеній траєкторії, тому ексцентриситет дорівнюватиме мінімальному значенню. Регулювання кривизни опорної поверхні підшипника сприятиме стабілізації положення осі ротору в опорах ковзання.

Список літератури

1. **Кіницький Я. Т.** Теорія механізмів і машин: Підручник. — К.: Наукова думка, 2002. — 660 с. ISBN 966-00-0740-X, 263 с.
2. **С. А. Чернавский.** Подшипники скольжения. М., «МАШГИЗ», 1963., 243 с.
3. **Квитницький Е.И., Киркач Н.Ф.** и др. Расчет опорных подшипников скольжения. Справочник. — Москва: Машиностроение, 1979. — 70 с
4. **Ляхов А.Ф.** Вычислительная обусловленность задачи балансировки ротора. – Проблемы прочности и пластичности, т.79, №2, 2017. – УДК 534.01
5. **Филимонович Г. Б.** Способ возбуждения двухчастотных вибраций пассивными автобалансирами / **Г. Б. Филимонович, В. В. Яцун** // Восточно-Европейский журнал передовых технологий.

6. **Драч І. В.** Ефективність балансування ротора автобалансуючими пристроями з сипкими робочими тілами і кульками малого діаметра / **І. В. Драч, В. П. Ткачук** // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2006. – № 1. – С. 126–130.
7. **Решетов Д.Н.** Детали машин: Підручник – М.: Машиностроение, 1989. — 496 с.
8. **Докшанин С.Г., Трошин С.И.,** Детали машин и основы конструирования. Смазка деталей машин и смазочные устройства: учеб.-метод. пособие – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013.
9. **Русов В. А.** Спектральная вибродиагностика. – М.: Наука, 1996. – 243 с.
10. **В. П. Ройзман, С. А. Петрашук,** Вибрації в техніці та технологіях. - 2015. - № 3. - С. 117-122.

Рукопис подано до редакції 05.04.2019

УДК 622.03-021.465:622'11

М. В. ШОЛОХ^{*}, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПРИРОДНО-ПРОСТОРОВОГО РОЗМІЩЕННЯ МІНЛИВОСТІ ВМІСТУ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН У НАДРАХ

Мета. У роботі розглянуто геостатистичні (дискретний, випадковий і універсальний крайгінг) методи оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах при поділу блоків на однорідні об'єми.

Методи дослідження. Оцінка блоків великого і малого розмірів з різним числом даних у блоках і за межами визначається по величині відносної похибки оцінок у порівнянні з фактично виміряними значеннями на відпрацьованих дільницях рудного тіла і покладах родовища. Порівняння точності результатів традиційних і геостатистичних методів оцінки фактору впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників надр не суперечить теорії оптимальної статистичної оцінки і використовується для моделі мінливості показників і окремих параметрів.

Наукова новизна. Запропонована модифікація крайгінга – індикаторний крайгінг, який дозволяє одержати ефективну геостатистичну оцінку впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників надр і в блоках, які складені різнотипними корисними копалинами. Методика універсального крайгінга дозволяє зменшити зсув оцінок об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах.

Практична значимість. Оцінка середнього значення природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників у надрах базується на дослідженні мінливості характеристики ознак, аналізі геометричних характеристик блоків дільниць рудного тіла і поклада родовища залізистих кварцитів і параметрів розвідувальних мереж. Розрахунки показують, що для малих блоків дільниць рудного тіла і поклада родовища залізистих кварцитів досить залучити для оцінки три – шість найближчих проб. Для регулярних мереж опробування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах розрахунки коефіцієнтів проведені заздалегідь для найбільш типових конфігурацій взаємного розташування блоку і проб, які беруть участь в оцінці.

Результати. Розглянуті дискретний, випадковий і універсальний крайгінг оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах більш ефективні по точності в умовах геологічної і статистичної однорідності блоків, які оцінюються. Запропонована модифікація крайгінга – індикаторний крайгінг, який дозволяє одержати ефективну геостатистичну оцінку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках, які складені різнотипними корисними копалинами. Сутність методу полягає в тому, що поряд зі звичайними варіограмами вмісту якісних показників для кожного типу корисних копалин будується індикаторна варіограма.

Ключові слова: запаси, блоки, об'ємно-якісні показники, крайгінг оцінки, індикаторні варіограми.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-62-68

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Питаннями впливу мінливості вмісту якісних показників надр [1] і прогнозування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах займалися провідні вчені [2–5]. Запропоновано досить багато методів прогнозування, більшість з яких не є ефективними з погляду похибки оцінки вмісту якісних показників корисних копалин у надрах, оскільки не враховують характер мінливості показників об'ємно-якісних ознак. Завдання прогнозування середніх значень геологічних об'ємно-якісних ознак показників корисних копалин у надрах – найважливіша при реалізації функцій маркшейдерсько-геологічного управління вмістом якісних показників корисних копалин. Застосування методів опробування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах, що засновані на теорії випадкових функцій, дає задовільні результати для блоків малого розміру,

які недостатньо «освітлені» розвідувальними даними і з якими доводиться зустрічатися в умовах діючих гірничовидобувних підприємств.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання про ефективність застосування різних математичних методів моделювання і прогнозування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах розглядається у дослідженнях [4; 6–8]. До теперішнього часу отримані дані не дозволяють віддати перевагу традиційним або геостатистичним методам, що пов'язано, з недостатньо глибоким аналізом конкретних гірничо-геологічних умов використання.

Постановка завдання. Завдання оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках успішно вирішується рівняннями крайгінга і оцінкою величини дисперсії, якщо модель розміщення об'ємно-якісних ознак в просторі не містить закономірної складової $C_{\gamma}(X, Y, Z, t)$, а автокореляційна функція $K(h)$ або

власна функція $\gamma(h) = \frac{1}{2} S(h) = K(0) - K(\infty)$ задані. Існують варіанти реалізації методу в зазначених умовах [9–11].

Перший – пов'язаний з точним вирішенням системи рівнянь крайгінга (дискретний крайгінг), другий – з можливими спрощеннями, виходячи з фізичного смислу рівнянь (випадковий крайгінг). Спрощення рівнянь виникає, при ситуаціях, коли результат оцінки очевидний до проведення розрахунків.

Викладення матеріалу та результати. Якщо лінійні розміри блоку, який оцінюється має той же порядок, що і середня відстань між точками опробування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках. Тоді зрозуміло, що в оцінку блоку внесок внесуть лише ті проби, які ближче розташовані до центра блоку, який оцінюється, тобто вагові коефіцієнти проб, що відділенні від блоку дорівнюють нулю. Такий висновок підтверджується точним вирішенням системи рівнянь крайгінга, які враховують всі вихідні дані. Другий варіант пов'язаний з оцінкою порівняно великих блоків. У цьому випадку очікується, що всі проби, які перебувають у межах блоку, мають приблизно однакові ваги. Проби на периферії блоку залучаються в оцінку з однаковими вагами [12].

Таким чином, висновок про можливість спрощення рівнянь крайгінга, а і оцінки середнього значення природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках повинен базуватися як на дослідженні мінливості характеристики ознак, так і на аналізі геометричних характеристик блоків дільниць рудного тіла і покладу родовища залізистих кварцитів і параметрів розвідувальних мереж. Як показують розрахунки, для малих блоків способу розробки дільниць рудного тіла і покладу залізородного родовища досить залучити для оцінки три – шість найближчих проб [13–15]. У цьому випадку для регулярних мереж опробування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках розрахунки коефіцієнтів виконуються заздалегідь для найбільш типових конфігурацій взаємного розташування блоку і проб, які беруть участь в оцінці.

Подібні розрахунки для моделей мінливості об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах, описаних схемами де Вейса і сферичною, наведені в [16]. Аналогічні приклади для експонентної схеми розглянуті в роботі [17]. При використанні комп'ютерних технологій для знаходження оцінок середніх значень природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках у випадках відхилень від стандартних умов алгоритмічно зручніше вирішується задаючи число проб, що беруть участь в оцінці, або межі ореола, у межах якого проби залучаються до оцінки. В обох випадках порядок системи рівнянь крайгінга не перевищує шести. Якщо лінійні розміри блоків перевершують середню відстань між пробамі в декілька разів, а об'єми блоків набагато менші об'єму способу розробки дільниць рудного тіла і покладу залізородного родовища, у якому вони перебувають, то оцінка природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках буде спрощена. При цьому число проб, що попадають в блок оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках об'єму v , дорівнює n , а число всіх проб у межах способу розробки дільниць рудного тіла і покладу залізородного родовища V дорівнює N . Оцінка природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках визначається з виразу

$$\tilde{C} = \lambda \bar{C}_n + (1 - \lambda) \bar{C}_N, \quad (1)$$

де $\bar{C}_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n C_k$ – середня арифметична оцінка природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках по пробах у середині блоку способом розробки дільниць рудного тіла і покладу залізорудного родовища v ; $\bar{C}_N = \frac{1}{N} = \sum_{m=1}^N C_m$ – середня арифметична оцінка природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках по пробах усього способа розробки дільниць рудного тіла і покладу залізорудного родовища V .

Припустивши, що проби в межах блоку v розташовані випадково і сам блок розташований випадково в способі розробки дільниць рудного тіла і покладу залізорудного родовища V (гіпотеза випадкового крайгінга), то вирази для оцінки і дисперсії природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках будуть мати вид

$$\lambda = \frac{\sigma_v^2}{\sigma_n^2 + \frac{n}{N-n}\sigma_v^2}; \quad \sigma_k^2 = (\sigma_n^2 - \sigma_v^2) \left[1 - \frac{\sigma_n^2 - \sigma_v^2}{\frac{N}{N-n} \left(\sigma_n^2 + \frac{n}{N-n} \right) \sigma_v^2} \right], \quad (2)$$

де $\sigma_n^2 = \frac{1}{n^2} \sum_{k=1}^n \sum_{m=1}^n K(|\bar{r}_k - \bar{r}_m|)$.

Якщо число проб N по всьому способі розробки дільниць рудного тіла і покладу залізорудного родовища корисних копалин V перевершує число проб n в середині блоку v , який оцінюється, то отримують наближені формули

$$\lambda \approx \frac{\sigma_v^2}{\sigma_n^2}; \quad \sigma_k^2 = \left(1 - \frac{\sigma_v^2}{\sigma_n^2} \right) \sigma_v^2 \quad (3)$$

Параметри оцінки і дисперсії крайгінга блоку v залежать від числа проб і від характеристик автокореляційної $K(r)$ або структурної $S(r)$ функцій. Таким чином, при оцінці великих і малих блоків способом розробки дільниць рудного тіла і покладу залізорудного родовища корисних копалин громіздкі рівняння крайгінга, що отримані у загальній теорії, значно спрощенні і розрахунки проведені при відсутності закономірної складової в розміщенні природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках $C(X, Y, Z, t)$.

При наявності тренда, всі розглянуті наближення стають неправомочними. У цьому випадку необхідно виділити тренд, використовуючи, метод найменших квадратів. Коефіцієнти рівняння тренда, обумовлені при цьому методі не зміщені, однак вони не мінімізують дисперсію, якщо відхилення значень природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках ознаки від тренда автокорельовані. При визначенні тренда досліджується відхилення на автокореляцію. При її наявності оцінки коефіцієнтів автокореляції, що обчислюється по різницях, будуть зміщеними.

Геостатистичні розрахунки для відхилень від тренда, що обумовлений методом найменших квадратів, можуть виявитися неефективними, тому необхідно враховувати автокореляції відхилень при підборі рівнянь тренда. Такий підхід до оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках є універсальний крайгінга. У такому обліку немає необхідності, якщо число точок опробування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках більше 100. У протилежному випадку варто видозмінити підхід до проблеми оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках, що приводить до рівнянь крайгінга [18].

Методика універсального крайгінга дозволяє зменшити зсув оцінок природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках. Припустивши, що значення природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках представляються у вигляді

$$C = m(r) + R(r), \quad (4)$$

де $m(r)$ – закономірна складова (тренд); $R(r)$ – відхилення, що представляють значення реалізації стаціонарної випадкової функції природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках з нульовим математичним очікуванням, тобто

$$M[C(r)] = m(r) \text{ і } M[R(r)] = 0.$$

Рівняння тренда представляються у вигляді лінійної комбінації відомих функцій природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках $\varphi_k(x)$

$$m(r) = b_1\varphi_1(r) + b_2\varphi_2(r) + \dots + b_q\varphi_q(r). \quad (5)$$

Оптимальний вибір коефіцієнтів b_q і становить сутність універсального крайгінга. Якщо відоме значення показника C у точках r_i , тобто $C_i = C(r_i)$, причому число проб N перевершує число коефіцієнтів у рівнянні тренда $q(N > q)$. Тоді

$$C_i = m(r_i) + R(r_i); \quad (6)$$

$$m(r_i) = b_1\varphi_1(r_i) + b_2\varphi_2(r_i) + \dots + b_q\varphi_q(r_i), \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (7)$$

Оцінка природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках компонента $m(r)$ у точці r_0 знаходимо у вигляді лінійної комбінації

$$\tilde{m}(r_0) = \sum_{i=1}^N p_i C_i. \quad (8)$$

Умова не зміщення такої оцінки

$$M[\tilde{m}(r_0) - m(r_0)] = 0. \quad (9)$$

Підставивши (6) і (8) в (9), отримаємо

$$\sum_{i=1}^N p_i \varphi_k(r_i) = \varphi_k(r_0), \quad k = 1, 2, \dots, q. \quad (10)$$

Додатковою умовою є вимога мінімуму дисперсії оцінки \tilde{m}

$$M[\tilde{m}(r_0) - m(r_0)]^2 = \min. \quad (11)$$

Мінімізація дисперсії методом множників Лагранжа приводить до системи рівнянь універсального крайгінга

$$\sum_{j=1}^q Q_{ij} b_j = P_j, \quad j = 1, 2, \dots, q, \quad (12)$$

де Q_{ij} – елементи матриці опробування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках Q з q рядками і N стовпцями, причому

$$Q = \Phi^T S^{-1} \Phi,$$

де $\Phi = \|\varphi_{ij}(x_i)\|$; Φ^T – матриця, транспонована стосовно матриці Φ ; S^{-1} – матриця, зворотна матриці коваріаційної функції відхилень у точках опробування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках S , елементи якої визначаються як

$$S_{ij} = M[R(r_i)R(r_j)], \quad i, j = 1, 2, \dots, N.$$

У свою чергу, P_j представляє собою елементи вектора-стовпця P

$$P = \Phi^T S^{-1} F,$$

де F – вектор-стовпець, елементи якого сутність значення показника C_i у точках опробування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках $r_i (i=1, 2, \dots, N)$.

Оцінку тренда в довільній точці r_0 знаходимо з виразу

$$\tilde{m}(r_0) = \sum_{k=1}^q \tilde{b}_k \varphi_k(r_0). \quad (13)$$

Для знаходження оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках в точці r_0 необхідно оцінити також компоненту $R(r_0)$. Проводячи крайгінг у відповідність до загальної теорії і враховуючи, що $M[R(r)] = 0$, отримується вираз оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках

$$\tilde{R}(r_0) = S_0 S^{-1} \tilde{R}, \quad (14)$$

де $S_0 = (S_{01}, S_{02}, \dots, S_{0N})$ – вектор-рядок, елементи якого $S_{0i} = M[R(r_i)R(r_0)]$; R – вектор-стовпець із елементами $f_i - \hat{m}(r_i)$.

Розглянуті геостатистичні методи оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках (дискретний, випадковий і універсальний крайгінг) найбільш ефективні (по точності) в умовах геологічної і статистичної однорідності блоків, які оцінюються. Однак на способі розробки дільниць рудного тіла і покладу залізорудного родовища ці умови рідко виконуються, що приводить до необхідності поділу блоків на однорідні об'єми. Нами запропонована модифікація крайгінга – індикаторний крайгінг, який дозволяє одержати ефективну геостатистичну оцінку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках, що складенні різнотипними корисними копалинами. Сутність методу полягає в наступному. Поряд зі звичайними варіограмами вмістів якісних показників для кожного типу корисних копалини будуються індикаторні варіограми. Для цього вводимо індикаторні мінливості $I(x) = 1$, якщо проба в точці x віднесена до корисних копалини даного типу і $I(x) = 0$, у випадку якщо проба в точці x віднесена до корисних копалини іншого типу. Отже для n типів корисних копалин уведуться n індикаторних мінливих $I_i (i = 1, 2, \dots, n)$. Потім будуються варіограми для індикаторних мінливих. Після побудови моделі мінливості проводимо звичайний крайгінг індикаторних мінливих у заданому блоці. Отримані оцінки $I_1^*, I_2^*, \dots, I_n^*$ представляють відносні частки корисних копалин кожного типу в блоці.

Після оцінки результати уточнюються у такий спосіб. Мінімізується

$$\sum_{i=1}^n \omega_i [I_i - I_i^*] = \min$$

при обмеженнях

$$\begin{cases} I_1 + I_2 + \dots + I_n = 1; \\ I_1 \geq 0; I_2 \geq 0; \dots; I_n \geq 0, \end{cases}$$

де ω_i – вагові коефіцієнти, які задані заздалегідь, у найпростішому випадку $\omega_i = \frac{1}{n}$.

У такій постановці остаточні оцінки I_i знаходяться методом квадратичного програмування. Якщо відомі варіограми для вмістів Z_i по кожному типу корисних копалин, то середній вміст якісних показників у блоці знаходиться таким же способом. Тобто спочатку визначається оцінка за допомогою крайгінга мінливості $Z_1^*, Z_2^*, \dots, Z_n^*$, потім методом квадратичного програмування знаходяться остаточні оцінки Z_1, Z_2, \dots, Z_n , виходячи з виразу

$$\sum_{i=1}^n \omega_i (Z_i - Z_i^*)^2 = \min$$

при обмеженнях

$$\sum_{i=1}^n l_i Z_i = Z; Z_i \geq 0,$$

де Z – оцінка крайгінга в блоці по усередненій варіограмі по всіх типах корисних копалин.

Для обґрунтування доцільності включення в систему маркшейдерсько-геологічного управління вмістом якісних показників корисних копалин і залізорудної сировини найбільш ефективних (по точності) математичних методів прогнозування характеристик природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках на великому фактичному матеріалі по експлуатованих залізорудних родовищах було проведено порівняння розглянутих вище модифікацій крайгінга із трьома найбільш часто застосовуваними на

практиці традиційними методами: середньозваженого арифметичного; зі зважуванням назад пропорційно квадратам відстаней; зі зважуванням з урахуванням анізотропії.

У результаті порівняння встановлена залежність точності оцінок об'ємно-якісних показників корисних копалин, що отриманні різними методами від виду моделі, мінливості кількості інформації, розмірів і просторового співвідношення блоків, що оцінюється і розвідувальної мережі [19–21]. Дані порівняння методів прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках наведені в табл. 1. Розглянута оцінка блоків малого і великого розмірів з різним числом розвідувальних даних у блоках і за межами. Ефективність методів визначається по величині відносної похибки оцінок у порівнянні їх з фактично вимірними значеннями на відпрацьованих дільницях рудних тіл і покладів родовища залістистих кварцитів.

Таблиця 1

Порівняння методів прогнозування характеристик природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках

Вид моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві і блоках	Похибка оцінок (%), що отриманні методами						
	Середньо зважене арифметичне	зважування назад пропорційно квадратам відстаней	зважування і облік анізотропії	дискретний крайгінг	випадковий крайгінг	універсальний крайгінг	індикаторний крайгінг
$C_{Fe_{загальне}} = C_T + C_K + C_C$	13,1	12,4	11,5	10,2	10,7	9,5	8,9
$C_{Fe_{магнетитове}} = C_K + C_C$	15,2	15,8	15,4	15,1	15,8	11,2	10,7
$C_{Fe_{окислене}} = C_K + C_C$	9,5	9,1	9,7	9,3	9,5	8,2	8,0

Примітка. C_T – тренд закономірної складової; C_C – некорельюєма випадкова складова, яка характеризується законом розподілу; C_K – корельюєма випадкова складова, яка представляється реалізацією стаціонарної випадкової функції і характеризується автокореляційною або структурною функцією.

Висновки та напрямок подальших досліджень. З наведених даних слідує, що універсальний крайгінг, що враховує автокореляції відхилень при підборі рівнянь тренда, дає помітно кращі результати для блоків малого розміру. При відсутності тренда методи оптимальної статистичної оцінки характеризуються меншою похибкою, величина якої залежить від відносного внеску C_K у загальну мінливість. Дискретний крайгінг дає тим меншу похибку у порівнянні з іншими методами, чим більше корельюємо випадкова складова. Результати, які отриманні всіма методами, по точності порівнянні, якщо випадкова складова C_C превалює. При оцінці якісних показників великих блоків випадковий крайгінг у порівнянні із середньозваженою арифметичною оцінкою дає кращі результати при наявності кореляційної складової C_K і за умови, що величина інтервалу кореляції порівнянна з лінійними розмірами блоку. При випадковому розміщенні ознаки обидва методи по точності оцінок дають фактично однакові результати. Запропонований індикаторний крайгінг є найбільш ефективним серед всіх методів (у тому числі і серед розглянутих геостатистичних) при оцінці якісних показників блоків, які складенні корисними копалинами різних типів. Порівняння по точності результатів застосування традиційних і геостатистичних методів при оцінці природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках суперечить теорії оптимальної статистичної оцінки і може бути пояснена тільки невдалим вибором моделі мінливості показників або окремих її параметрів. Детальний аналіз мінливості показників і конкретних умов оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках повинен завжди передувати обґрунтованому вибору математичного методу прогнозування.

Список літератури

1. Единые правила охраны недр при разработке месторождений твердых полезных ископаемых. (1987). М., Недра.
2. Инструкция по производству маркшейдерских работ (1987). – ВНИМИ. – М., Недра. – 240 с.
3. Kwa B. L., Mousset-Jones P. F. (1984). Indicator approaches to the mineral reserve estimation of a gold deposit in Nevada – In: 18 th Int. Symp. APCOM. London, p. 343–366.
4. Бокс Дж., Дженкинс Г. (1974). Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1. М., Мир.
5. Гудков В. М., Васильев В. М., Николаев К. П. (1976). Прогноз и планирование качества полезного ископаемого. М., Недра.

6. **Матерон Ж.** (1968). Основы прикладной геостатистики. М., Мир.
7. **Шолох Н. В.** (1999). Горно-геометрический мониторинг прогнозирования качественных показателей железорудных месторождений. / Сб. научных трудов второго международного симпозиума «Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке». – Ялта. – С. 218–220.
8. **Шолох М. В., Топчий О. Л.** (2012). Прогнозування якісних показників корисних копалин при комплексному освоєнні родовища. / Зб. наукових праць «Вісник КНУ». – Кривий Ріг. – Вип. 32. – С. 241–245.
9. **Шолох М. В., Сергєєва М. П.** (2013). Моніторинг прогнозування показників корисної копалини родовища на основі стохастичного моделювання відособлених і взаємозалежних динамічних рядів. / Сб. матеріалів міжнародної науко – техн. конференції. – Донецьк: ДонНГУ. – Вип. 3. – С. 47–52.
10. **Шолох М. В.** (2016). Моделювання динамічних рядів прогнозування якісних показників руди і корисної копалини у рудній сировині. / Науково – техн. збірник «Гірничий вісник» ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг. – Вип. 101. – С. 49–55.
11. **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.
12. **Sholokh M. V.** (2017). Methodology for the standardization losses of ready-to-extract solid minerals. / For participation in the 2nd International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Mining Industry». December 14, 2017, Kyyvyi Rih. – s. 179.
13. **Шолох Н. В.** (2005). Прогнозирование показателей геохимического поля месторождений железистых роговиков Кривбасса / Научно – техн. сборник «Разраб. рудн. месторождений». – Кривой Рог. – Вип. 89. – С. 144–147.
14. **Федоренко П. И., Шолох Н. В., Переметчик А. В.** (2007). Выбор оптимальной методики оценки исходных геологических данных при прогнозировании качественных показателей железорудных месторождений. / Научно – техн. сборник «Разраб. рудн. месторождений». – Кривой Рог. – Вип. 91. – С. 102–106.
15. **Sholokh M. V.** (2018). Determination and research of norms of the ferrous quartzites prepared to booty. – С. 25–52. / Development of scientific foundations of resource-saving technologies of mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski». – 264 p. ISBN 978-954-353-355-8.
16. **Sholokh M. V.** (2018). An analysis of surveyor control of losses of balance-industrial supplies is at mastering. – С. 132–135. / International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Resource-Saving Technologies of Mineral Mining and Processing». Book of Abstracts. – Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, –221 p.
17. **Шолох Н. В.** (2002). Оптимальные алгоритмы и программы для автоматизации построения горно-геометрических графиков. / Разработка рудных месторождений. – Выпуск № 78. – Кривой Рог. – С. 179–182.
18. **Шолох Н. В.** (2005). Прогнозирование показателей геохимического поля месторождений железистых роговиков Кривбасса. / Разработка рудных месторождений. – Выпуск № 89. – Кривой Рог. – С. 144–147.
19. **Шолох Н. В., Топчий А. Л.** (2014). Формирование качества полезного ископаемого и рудного сырья горнорудных предприятий Кривбасса. / Збірник наукових праць «Гірничий вісник». – Науково-технічний збірник ДВНЗ «КНУ». – Випуск № 97. – Кривий Ріг. – 2014. – С. 26–30.
20. **Шолох М. В.** (2018). Маркшейдерське забезпечення прогнозування і управління якісними показниками при розробці залізородних родовищ. – С. 160–168. / Форум гірників–2018: матеріали міжнар. конф., 10–13 жовтня 2018 р. – Дніпро: Середняк Т. К. – 307 с. ISBN 978-617-7696-55-0.
21. **Шолох М. В.** (2018). Нормування балансово-промислових запасів залістистих 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. 822 p. ISBN–13 978-3-903197-91-6; ISBN–10 3-903197-91-2.
22. **Шолох М. В., Сергєєва М. П.** (2018). Моделювання характеристик об'ємно-якісних показників потоків залізородної маси кар'єрів і шахт. / Зб. наукових праць ДВНЗ «КНУ» «Гірничий вісник» Науково-технічний збірник: Кривий Ріг. – Вип. 103. – С. 17–22.
23. **Шолох М. В.** (2018). Моделювання прогнозної оцінки 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.

Рукопис подано до редакції 09.04.2019

УДК 666.125.016.1:669.017.1

В.А. ШАПОВАЛОВ, Л.Н. САЙГАРЕЄВ, Т.П. ЯРОШ, кандидати техн. наук, доценти
І. Е. СКІДІН, ст. викладач, Криворізький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБНИЧОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЛИВАРНИХ ЦЕХІВ У ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ ЕКОЛОГІЇ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ

Метою статті є аналіз прямого та опосередкованого впливу заходів з підвищення енерго- та ресурсоефективності ливарного виробництва на санітарно-екологічний стан у виробничих відділеннях та на підприємстві у цілому.

Методи. У результаті аналізу та бенчмаркінгу запропоновані заходи щодо зниження енергоемності виробничого процесу виготовлення виливок. Детально розглянуті та проаналізовані аспекти вирішення завдань екології та

охорони праці при підвищенні виходу придатної продукції унаслідок зменшення браку, використання сучасних технологій формотворення та виробництва стрижнів, застосування технології регенерації формувальних сумішей, впровадження методів виправлення дефектів та способів виробництва двошарових виливків із застосуванням саморосподжуючогося високотемпературного синтезу розплавів, удосконалення технологічних операцій плавки та розливної спалі.

Наукова новизна. Показано, що зменшення кількості браку і підвищення виходу придатного металу опосередковано, але все ж таки, скорочує тривалість виробничого циклу, рівень травматизму, поліпшує санітарно-гігієнічну ситуацію. Це призводить до зменшення кількості зворотного сплаву у плавці, поліпшенню умов праці, нормалізації екологічної ситуації.

Практична значимість. Впровадження прогресивних технологій виготовлення ливарних форм і стрижнів, а також відновлення відпрацьованих сумішей з урахуванням санітарно-гігієнічних норм та правил позитивно впливає на технологічні чинники виробництва, умови праці і екологічний стан у цілому. Застосування технології лиття з використанням СВЧ як альтернативи наплавленню різних сплавів на поверхню виливків забезпечить зменшення використаної електроенергії, газу та води, суттєвого зниження рівня утворення відходів та кількості шкідливих викидів у навколишнє середовище у порівнянні з викидами під час інших методів плавлення та розливання розплавів.

Результати. Аналіз зв'язків між більш ефективним використанням виробничого потенціалу ливарного підприємства та санітарно-екологічними показниками роботи дозволив обґрунтувати напрямки та конкретні заходи з одночасного покращення показників ефективності і рентабельності виробничих процесів та показниками екологічності й охорони праці.

Ключові слова: охорона праці, екологія, ливарне виробництво, ресурсоефективність, енергоємність.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-68-74

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Ливарні цехи часто є найбільш екологічно брудними в структурі підприємств машинобудівної галузі. Крім того, виробництво литих заготовок є одним з найбільш енергоємних заготівельних виробництв. Застосовуване плавильне устаткування й технології лиття обумовлюють значні витрати електроенергії, стисненого повітря, а також води. Важливою основою раціонального технологічного використання усіх енергетичних ресурсів є використання методів, пов'язаних з енергетичним і енергоекологічним аналізом. Обмеженість викопних джерел енергії роблять енергозберігаючу політику одним з головних факторів технічного прогресу.

Аналіз досліджень і публікації. Відповідно до критеріїв моделі сталого екологічно безпечного промислового розвитку, ливарним цехам і підприємствам необхідна система урахування та оптимізації використання ресурсів, яка б базувалась на покращенні технологічних та технічних рішень [1-3]. Завдяки системному підходу у підприємств з'являється можливість не тільки здійснювати урахування ресурсів та їх втрат, але й визначати вплив енергозберігаючих заходів на санітарно-екологічну складову технологічного процесу виготовлення виливків.

Таким чином, питання енергозбереження нерозривно пов'язані з безвідходністю і екологічністю виробництва, крім того, забруднення є симптомом неблагополучного стану охорони праці на виробництві. Якщо розглядати забруднення як вид витрат, у промислових підприємств може з'явитися стимул вкладати кошти в зниження собівартості шляхом одночасного підвищення ефективності виробництва (за рахунок зниження рівнів забруднень, обсягів відходів тощо) і покращення стану охорони праці.

Основний підсумок економічного регулювання охорони навколишнього середовища – формування такого шляху економічного розвитку, коли зростання випуску продукції поєднується зі зниженням її ресурсо- та енергоємності [4]. В підсумку покращуються умови праці, знижуються загальне навантаження на навколишнє середовище і розміри збитку на одиницю продукції.

Постановка задачі. Обґрунтувати можливість одночасного покращення показників ефективності та рентабельності виробничих процесів разом із показниками екологічності та охорони праці завдяки використанню потенціала ресурсоефективності ливарної галузі чорної металургії й повноцінного використання виробничого потенціалу.

Викладення матеріалу та результати. Для зниження енергоємності виробничого процесу виготовлення литих заготовок можна рухатися у двох напрямках: зниження витрат енергоресурсів у виробничому процесі, тобто зниження енергоємності кожної застосовуваної у виробництві технології виготовлення литої заготовки; збільшення кількості вироблених придатних заготовок за аналізований період.

Перший напрямок базується на:

зниженні обсягів електроенергії, споживаної ливарним виробництвом;
зниженні обсягів води, споживаної ливарним виробництвом;
зниженні обсягів стисненого повітря, споживаного ливарним виробництвом;
скороченні тривалості виробничого процесу виготовлення литих заготовок;
скороченні викидів забруднюючих речовин у навколишнє середовище.

Другий напрям заходів щодо зниження енергоємності виробничих процесів базується на: поліпшенні організаційних умов виробництва (наприклад, автоматизовані системи планування енергоресурсів);

поліпшенні технологічних умов виробництва (наприклад, впровадження нових точних технологічних процесів);

поліпшенні технічних умов виробництва (наприклад, придбання енергозберігаючого устаткування).

Зменшення кількості браку виливок і підвищення виходу придатного металу може бути таким прикладом. У разі невиправного або остаточного браку вилівка підлягає переплавці, і в результаті вилівка, вже в якості металевого брухту, проходить повторно шлях переробки, відповідно до технологічної інструкції. В результаті такої діяльності підприємство неефективно споживає природні ресурси, що обумовлює додаткові викиди в атмосферу шкідливих газів, пилу і теплового випромінювання. Крім того, збільшується вірогідність випадків травматизму робітників на тонну виробленої продукції, погіршується санітарно-гігієнічна обстановка на робочому місці, а також збільшується тривалість виробничого циклу. Ця ситуація негативно впливає на екологічний бік виробництва, який є невід'ємною складовою усього технологічного процесу.

Причинами виникнення бракованих відливок можуть бути, наприклад, газові раковини. Вони утворюються через насичення воднем металу в результаті зіткнення з сирію футеровкою печей, невисушеним жолобом і ливарним ковшем, вологими стрижнем і формою [5]. Причини утворення бракованих виливок, можуть бути причинами порушення вимог правил безпечного проведення технологічних процесів, що створює передумови для виникнення аварій і аварійних ситуацій. При контакті з металом, що заливається у форму, зайва волога сприяє інтенсивному паротворенню. При паротворенні води її об'єм збільшується приблизно в 1250 разів. Тому при підвищеному вмісті вологи у формі можливі викиди бризок металу під час заливання форм. Водень потрапляє в сталь внаслідок використання при плавці іржавого брухту, насичених газом феросплавів, використання вологих компонентів шихти тощо. При різкому охолодженні сталі в процесі заливання у форму відбувається різке зниження розчинності водню і його виділення з пересиченого розчину у вигляді газових бульбашок.

Вода при зустрічі з розжареним залізом внаслідок хімічної взаємодії розкладається з виділенням у вільному виді водню (H_2). За відомих умов водень з повітрям утворює вибухонебезпечну суміш, яка при займанні вибухає.

Вибух може статися при займанні вибухонебезпечної суміші, що складається з водню, що утворюється при реакції [5]: $Fe + H_2O = FeO + H_2$ і повітря (чи кисню) навколишньої атмосфери.

Розливання рідкого металу або шлаку на вологі підлогу, ґрунт, матеріали або конструкції (що також є втратами матеріалу), зазвичай супроводжуються вибухами або хлопаннями з викидом рідкого металу або шлаку. Вибухи і хлопання також відбуваються і при випуску металу по непросушених жолобах або при зливанні в ківш з погано просушеним футеруванням.

Отже, зменшення кількості браку і підвищення виходу придатного металу, опосередковано, але все ж таки скорочує кількість випадків травматизму на робочому місці (на тонну виробленої продукції), поліпшує санітарно-гігієнічну ситуацію, скорочує тривалість виробничого циклу. Це безпосередньо веде до зменшення кількості зворотнього сплаву у плавці, поліпшенню умов праці, а звідси, і до нормалізації екологічної ситуації за рахунок зменшення впливу на неї негативних технологічних чинників.

Іншим важливим аспектом, який одночасно вирішує питання і завдання підвищення ефективності технології виробництва й екології та охорони праці, є впровадження у виробництво ливарних форм, що хімічно твердіють, самотвердіючих формувальних пластичних і рідких сумішей, а також стрижневих горячтвердіючих і холоднотвердіючих сумішей. Прогресивні технології дозволяють не тільки підвищити якість виливків, але й оздоровити умови праці в

ливарних цехах. Однак, виготовлення ливарних форм, що хімічно твердіють, а також приготування і використання самотвердіючих формувальних і стрижневих сумішей вимагає неухильного дотримання певних заходів з охорони праці.

Виготовлення ливарних форм, що хімічно твердіють, по CO_2 -процесу, виключає операцію сушіння форм. Заміна сушки форм хімічним твердінням дозволяє знизити тепловиділення і загазованість повітряного середовища робочих зон окисом вуглецю, вуглеводнями і смолистами речовинами. Крім того, при CO_2 -процесі відсутня така трудомістка операція, як обслуговування сушильних печей, зменшується пилоутворення на ділянках очищення і обрубки вилівоків.

Істотним недоліком CO_2 -процесу є виділення шкідливого для людини вуглекислого газу. Для зменшення його вмісту в повітрі робочих зон після продувки форм його відсмоктують з формувальної дільниці переносним ежектором. Небезпека шкідливого впливу вуглекислого газу на робочих практично виключається через застосування інтенсивного повітрообміну в цеху, аерації та штучної вентиляції.

Виготовлення форм і стрижнів з рідких самотвердіючих сумішей дозволяє знизити шум, вібрацію, газовиділення і тепловиділення, а також зменшити пилоутворення. При цьому процесі не використовують формувальні і стрижневі машини для ущільнення суміші, обладнання для сушіння та продувки форм вуглекислим газом. Недоліком цього процесу є наявність феррохромового шлаку, що виділяється в повітряне середовище робочих зон у вигляді аерозолу хромового ангідриду. Крім того, затверджувач і суміш, що містить хром, подразнюють шкірний покрив рук робітників, які виконують операцію очищення опок і стрижневих ящиків від надлишків суміші.

Щоб не перевищити гранично допустимі по санітарним нормам концентрації хромового ангідриду застосовують такі профілактичні заходи. Матеріали, що містять хром, доставляють в просіяному вигляді і в герметичній тарі, зменшують вміст затверджувача в суміші до 3%, виробляють герметизацію сит, бункерів, змішувачів, дозаторів та іншого обладнання, подають в змішувач сухі та рідкі складові суміші одночасно, виробляють двоступеневу очистку повітря, що викидається в атмосферу.

Для попередження подразнень шкіри від дії затверджувача і суміші, що містить хром, операції технологічного процесу механізуються (наприклад, зрізання надлишків суміші), а робітників забезпечують засобами індивідуального захисту (пасти, мазі тощо).

Виготовлення стрижнів з горячетвердіючих сумішей дозволяє підвищити розмірну точність стрижнів, виключити операцію сушіння стрижнів в сушилах, знизити тривалість виготовлення стрижнів з 1,5-4,5 год. до 20-180 с. Однак застосування горячетвердіючих стрижневих сумішей пов'язано з використанням шкідливих для здоров'я працюючих речовин: метилового спирту, формальдегіду, фурфуролу, аміаку, фурілового спирту і окису вуглецю.

Для створення безпечних умов праці при виготовленні стрижнів з горячетвердіючих сумішей проводять комплекс спеціальних заходів організаційного та санітарно-технічного характеру: в якості сполучного матеріалу застосовують не метиловий, а полівініловий спирт, що різко знижує забрудненість повітряного середовища робочих зон шкідливими речовинами; ізолюють нагріті поверхні обладнання; оснащують стрижневі машини і конвеєри для переміщення гарячих стрижнів вентиляційними панелями або зонтами.

Виготовлення стрижнів з холоднотвердіючих сумішей дозволяє підвищити розмірну точність стрижнів і виключити операцію сушіння. Однак застосування холоднотвердіючих сумішей пов'язано з виділенням в повітряне середовище робочих зон формальдегіду, метилового спирту, фенолу і ацетону.

До складу суміші в якості каталізатора (прискорювача твердіння) входить ортофосфорна кислота. За зовнішнім виглядом ортофосфорна кислота - безбарвна (або зі слабким жовтуватим відтінком) густа рідина, шкідлива для здоров'я працюючих. З огляду на це, в ливарних цехах строго дозують кількість ортофосфорної кислоти в сумішах і періодично контролюють її концентрацію в атмосфері стрижневих ділянок [6].

Операції, пов'язані зі зберіганням і перекачуванням ортофосфорної кислоти, виконують тільки спеціально підготовлені робітники при строгому дотриманні спеціальної інструкції. До роботи зі змішувачем допускаються робітники, які твердо знають технологічний процес виготовлення сумішей і властивості матеріалів, що надходять у змішувач.

Змішувач дозволяється експлуатувати тільки при повній справності всіх його механізмів, насосів - дозаторів смоли і кислоти, при наявності огорожень пасової передачі і муфти, при повній справності електричних проводів до електроустаткування змішувача і насосів. Під час роботи змішувача необхідно звертати особливу увагу на справність блокування кришок: при відчиненні кожної із них змішувач повинен зупинятися.

Отже, впровадження прогресивних технологій виготовлення ливарних форм і стрижнів з урахуванням санітарно-гігієнічних норм та правил позитивно впливає на технологічні чинники виробництва, умови праці і екологічний стан у цілому.

Впровадження технології відновлення відпрацьованих сумішей є актуальним не тільки з точки зору підвищення ефективності виробництва але й через те, що такі заходи є одним з основних напрямків раціонального використання мінеральної сировини. Крім того, застосування відновлених відпрацьованих сумішей вирішує важливу екологічну проблему забруднення навколишнього природного середовища. Після використання формувальні суміші, як правило відправляють у відвали. Технологія виробництва формувальних сумішей передбачає застосування в'язучих речовин, до складу яких входять небезпечні феноли і формальдегіди. Ці речовини добре розчинні у воді, що створює небезпеку забруднення ґрунтів і водоймищ при їх попаданні разом з атмосферними опадами або ґрунтовими водами. Слід зазначити, що за останні роки виникла ще одна катастрофічна екологічна проблема, пов'язана із визначенням місця для їх складування, оскільки вільних місць поблизу підприємств практично немає, а для організації нових відвалів необхідно виділяти нові земельні угіддя. Разом з цим, накопичені за останні роки відвали горілої землі є потужними джерелами виділення пилу. Поверхні відвалів швидко віддають вологу, висихають і при швидкостях вітру понад 3 м/с, піддаючись вітровій ерозії, стають джерелами винесення пилу і забруднення атмосферного повітря.

Для вирішення екологічних проблем ідеальна організація технологічного процесу суміше-приготування з використанням відпрацьованих формувальних і стрижневих сумішей. Одночасно це ідеальна схема ресурсозберігаючої технології, тобто завдання екології та ресурсозбереження збігаються і об'єднуються в єдину глобальну ресурсоекологічну задачу.

Таким чином, впровадження технології має не тільки економічний аспект застосування, але й вирішує важливі екологічні завдання, такі як захист земельних ресурсів і атмосферного повітря, а також комплексне використання мінеральних ресурсів.

Методи лиття із застосуванням порошків термітних сумішей набули останнім часом широкого поширення на ряді машинобудівних заводів. Це пояснюється тим, що вони дозволяють в значній мірі скоротити витрати на виробництво рідкого металу. Підвищення якості виливків і впровадження в процес відходів виробництва (точніше їх ефективна переробка), так само грають не останню роль при виборі технології. Крім того, відбувається економія енергоресурсів, за рахунок виключення деяких операцій, у порівнянні з класичною технологією отримання виливка в разових формах.

Отже, технологія лиття та наплавлення з використанням саморозповсюджуючого високо-температурного синтезу (СВС) розплаву дозволяє утилізувати відходи (порошок окालини, сталева стружка тощо) різних металургійних переділів. Теж саме не можна сказати про плавку в електродуговій печі, адже там можна плавити лише підготовлену шихту великої фракції [7, 8].

Застосовуючи технологію лиття з використанням СВС як альтернативу наплавленню різних сплавів на поверхню виливків можна очікувати зменшеної кількості використаної електроенергії, газу та води, кількості утворених відходів та кількості тепла, а головне, на декілька порядків зменшення кількості шкідливих викидів у навколишнє середовище, у порівнянні з викидами під час інших методів плавлення та розливання розплавів.

Плавлення металу у ливарних цехах відбувається як в електричних печах (дугових та індукційних), так і в газових печах і вагранках. Термообробка виливків також здійснюється або в електричних печах опору, або в газових печах.

Вихід газів з електросталеплавильної печі і склад газової фази залежить від складу шихти, швидкості плавлення, технологічного і температурного режимів плавки, режиму продувки тощо. Склад газів у залежності від швидкості вигорання вуглецю змінюється в таких межах (табл. 1) [9, 10].

Таблиця 1

Склад газів					
Компоненти	CO	CO ₂	H ₂	O ₂	N ₂
Вміст, % об'ємний	15-25	5-11	0,5-35	3,5-10	61-72

Наявність в газах окису вуглецю робить їх вибухонебезпечними, що треба мати на увазі при проектуванні систем газочиснення.

Великий вплив на режим газовиділення надає ряд факторів і, в першу чергу, підсмоктування повітря в піч, що залежить від режиму внутріпінного тиску, якості ущільнення наявних зазорів, наявності автоматичного регулювання тощо.

Максимальний вихід газів при відсмоктуванні через отвір у склепінні і працюючій системі газоочищення (питомий вихід газу складає 350-450 м³/т) може перевищувати середній на 60-70% і тривати до 30 хв. (табл. 2).

Таблиця 2

Середні викиди газів з дугових електросталеплавильних печей				
Ємність печі, т	Маса садки, т	Потужність трансформатора, кВт*А	Тривалість плавки, год	Середній вихід газів, м/год
5	7,0	3000	3,5	650-700
10	11,5	5000	4	1000-1100
20	25,0	7000	4,25	2200-2300
40	45,0	15000	4,25	3900-4000
100	110,0	25000	5,0	7800-8000

Вихідні з печі гази в значній мірі засмічені пилом. Дрібнодисперсний пил утворюється в результаті випаровування металу в зоні дії електричних дуг і кисневої продувки й подальшої конденсації в пічному просторі. Більші фракції дають шлакоутворюючі і змелені добавки.

Середня концентрація пилу в газі (табл. 3) знаходиться в межах 15-30 г/м³, що дає питомий вихід пилу, який дорівнює 6-9 кг/т сталі, такого дисперсного складу (середньовуглецеві і хромисті сталі).

Основним компонентом пилу є оксиди заліза, сумарна кількість яких становить: в період розплавлення 80%; в період кипіння (при продувці киснем) - 62% і в період доведення - 53%.

У період розплавлення в пилу з'являються оксиди марганцю (11%), в період доведення - оксиди кальцію (6%) і магнію (9%). У невеликих кількостях в газах знаходяться наступні токсичні мікрокомпоненти (табл. 4).

Таблиця 3

Концентрація пилу в газі				
Розмір частинок, мкм	0,0-0,7	0,7-7,0	7-80	Понад 80
Вміст, % за масою	42	35	16	7

У цеху виділяється значна кількість неорганізованих викидів, що становлять до 40% викидів технологічних.

Таблиця 4

Токсичні мікрокомпоненти в газах				
Компонент	оксиди азоту	оксиди сірки	ціаніди	фториди
Вміст, мг/м ³	550	5	60	1,2
Вихід, г/т	270	1,6	28,4	0,56

В процесі експлуатації дугової електросталеплавильної печі потрібні підйом і опускання електродів, підйом і поворот склепіння, нахил ванни та інші операції. Тому створення стаціонарного пристрою для відсмоктування газів представляє значні конструктивні труднощі.

Якщо не вжити спеціальних заходів, гази, що виділяються в процесі плавки через завантажувальні вікна, зазори між електродами і склепінням та інші нещільності, надходять безпосередньо в приміщення цеху, звідки видаляються через ліхтарі будівлі за допомогою аерації. При цьому пил випадає з потоку, що повільно піднімається, осідає на склепінні печі, обладнанні, конструкціях будівлі, що знижує світлопроникність вікон і вимагає створення спеціальних пристроїв для прибирання. Загазованість і запиленість приміщення цеху часто настільки збільшуються, що у верхній зоні ускладнюється видимість для кранівників, а на робочому майданчику концентрація пилу і газів у багато разів перевищують санітарні норми.

З ростом продуктивності печей збільшується кількість газів, що утворюються, особливо при застосуванні кисневої продувки. Питомі виділення забруднень з вагранок на 1 т складають: 1000 м³ газу, 15-20 кг пилу і 150-200 г окису вуглецю. Викиди сірчистого ангідриду залежать від вмісту сірки в шихті і коксі. Температура газів на виході з вагранки може досягати 800-900 °С. У колошникових газах вагранок зазвичай міститься 20 г/м³ пилу і 15% окису вуглецю до

іскрогасника. Оскільки в газах вагранок міститься окис вуглецю, то вони вибухонебезпечні. Колошниковий пил вагранок містить 22-25% оксидів заліза, 28-31% оксидів кремнію, 3-4% окису кальцію, втрати під час прожарювання становлять 28-33%, решта - інші компоненти в невеликих кількостях.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Отже, за рахунок оптимізації основних показників ефективності роботи ливарних підприємств та використання виробничого потенціалу можливе одночасне покращення показників ефективності і рентабельності виробничих процесів разом із показниками екологічності та охорони праці.

Список літератури

1. **Кущин В.С.** Разработка и внедрение в крупнотонажном производстве ферросплавов ресурсо и энергосберегающих технологий. Збірник наукових праць: Актуальні проблеми розвитку металургійної науки та освіти. // **Кущин В.С., Гасик М.И., Ольшанский В.И., Дедов Ю.Б.** – Дніпро, НМетАУ, 2017 с.73-84.
2. **Карпіщенко О.І.** Вплив машинобудівних підприємств на навколишнє середовище / **О.І. Карпіщенко, Д.Ю. Казбан** // Економічні проблеми сталого розвитку: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції імені проф. Балацького О.Ф. - Суми: СумДУ, 2015. - С. 212-213.
3. **Анқудінова Т.Г.** Зниження забруднення повітря викидами цеху кольорового литва машинобудівних заводів. / **Т.Г. Анқудінова, А.Г. Шишацький** // Міжнародна науково-практична конференція «Перший Всеукраїнський з'їзд екологів»: Збірник тез доповідей. С. 249.
4. **Хобта В. М.** Підвищення екологічної чистоти виробництва машинобудівного підприємства / **В. М. Хобта, О. Ю. Рудисва** // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2010. – № 684 : Проблеми економіки та управління. – С. 291–295.
5. **Шеремет В.О.** Довідковий посібник керівника та спеціаліста гірничо-металургійного підприємства з охорони праці: Навчальний посібник. // **Шеремет В.О., Каракаш О.І., Марунчак В.Ф. та ін.** - Дніпропетровськ: ПП „Ліра ЛТД”, 2005. – 850 с.
6. **Скирденко М. В.** Технологічні властивості стрижневих сумішей, які зміцнюються при взаємодії ортофосфорної кислоти з компонентами наповнювача / **Скирденко М. В. Кеуш Д. В., Лютий Р. В.** // Нові матеріали і технології в машинобудуванні. - К, КПІ, 2017. № 2 - С. 9-12.
7. **Скідін І.Е.** Дослідження впливу металевого наповнювача термітної шихти на якісні показники сплаву, наплавного методом СВС / **І.Е. Скідін, О.М. Жбанова, Л.Н. Сайтгарєв та ін**// Вісник ЖДТУ. – Житомир, 2017. № 2 (80). С.- 13-17. ISSN 1728-4260.
8. **Скидин И.С.** Исследование биметаллических образцов, сплавленных высокотемпературным синтезом / **Скидин И.С., Калинин В.Т., Бялик Г.А. и др** // Процессы литья. – К, 2018. №1 (127) - С.62-67.
9. **Старк С.Б.** Пылеулавливание и очистка газов в металлургии. – М.: Металлургия, 1977. - 328 с.
10. **Шалевська І.А.** Екологічна ситуація у металургійному переділі ливарного виробництва при виготовленні виливків з залізобуглецевих сплавів // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. — 2015. — № 5(222). — С. 124—126.

Рукопис подано до редакції 04.04.2019

УДК 622.272: 622.063.7

А. В. КОСЕНКО, асистент, В. М. ТАРАСЮТІН, канд. техн. наук, доц.,
Криворізький національний університет

ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСНОГО ЗАСТОСУВАННЯ САМОХІДНОЇ ГІРНИЧОЇ ТЕХНІКИ У ПРОЦЕСІ ВІДПРАЦЮВАННЯ ЗАПАСІВ ПРИРОДНО-БАГАТИХ ЗАЛІЗНИХ РУД НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ

Мета. Обґрунтування доцільності комплексного застосування самохідної гірничої техніки у процесі відпрацювання покладів природно-багатих залізних руд в умовах великих глибин шахт Кривбасу на основі техніко-економічного порівняння з традиційним варіантом технології підповерхового обвалення.

Методи. Конструктивно-функціональний аналіз і синтез технологічних процесів очисного виймання; фізичне і чисельне моделювання високо-інтенсивного технологічного процесу випуску руди під обваленими породами; технологічне проектування і техніко-економічна оцінка схем процесів очисного виймання природно-багатих залізних руд.

Наукова новизна. Встановлені залежності ефективності розробленого варіанту технології підповерхового обвалення із застосуванням самохідної гірничої техніки від гірничо-геологічних та гірничотехнічних чинників.

Практична значимість. Розроблено раціональний варіант технології підповерхового обвалення для відпрацювання покладів природно-багатих залізних руд з використанням самохідної прохідницької, бурової та доставочної техніки, який дає змогу забезпечити: формування компенсаційних камер необхідного, для якісного подрібнення рудного масиву та протікання технологічного процесу випуску відбитої рудної маси, об'єму; підвищення якісних і

кількісних показників вилучення руди відповідно на 2,6% та 2,7% (абсолютних); стійкість підготовчо-нарізних виробок і зменшення витрат на їх підтримання та ремонт; економічну ефективність на рівні 14,5 грн/т.

Результати. Доведена ефективність впровадження на практиці розробленого варіанту технології підповерхового обвалення із застосуванням самохідної гірничої техніки. Так як у порівнянні з базовим він дозволить підвищити економічну ефективність відпрацювання покладів природно-багатих залізних руд в умовах великих глибин на 10,1%, завдяки підвищенню інтенсивності очисного виймання запасів панелей. А встановлений рівень економічної ефективності розробленого варіанту технології очисного виймання забезпечується підвищенням, до оптимального рівня (5,5-6,0 т/м² за добу), інтенсивності технологічного процесу випуску і доставки руди, величина якої досягається завдяки застосуванню комбінованого способу доставки, що представлений у вигляді комплексу «багатоковшеві скреперні лебідки 55ЛС-2С – самохідна навантажувально-доставочна машина TORO 400Е».

Ключові слова: природно-багаті залізні руди; втрати руди; засмічення рудної маси; підповерхове обвалення; показники вилучення; інтенсивність випуску руди, фізичне моделювання, чисельне моделювання.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-74-80

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Для відпрацювання покладів природно-багатих залізних руд в умовах підземного Кривбасу переважно застосовуються підповерхово-камерна технологія очисного виймання і підповерхового обвалення. При цьому з пониженням глибини все більший відсоток застосування має технологія з обваленням руди і порід, що її вміщують [1].

Основними негативними факторами використання традиційних варіантів технології підповерхового обвалення є використання морально застарілого і низькопродуктивного стаціонарного та переносного гірничого обладнання [1]. Так як це впливає на підвищення затрат, які пов'язані з підтриманням виробок приймального горизонту в робочому стані на протязі усього терміну відпрацювання виймальної одиниці, а також на зниженні якісних та кількісних показників вилучення руди, що негативно впливає на конкурентоспроможність гірничо-видобувних підприємств [2,3]. При цьому гірничі роботи ведуться в крайнє несприятливих санітарно-гігієнічних умовах праці гірників [1]. А єдиним можливим шляхом зменшення негативного впливу цих факторів є комплексне застосування самохідної гірничої техніки на всіх технологічних процесах очисного виймання [1-3].

Отже розробка високопродуктивної технології очисного виймання з використанням самохідної гірничої техніки є актуальною науково-практичною задачею.

Аналіз досліджень і публікацій. У ході проведеного аналізу теорії і досвіду застосування системи розробки підповерхового обвалення [1-5] було встановлено, що резерви подальшого конструктивного і технологічного вдосконалення її на основі застосування стаціонарного та переносного обладнання в умовах значних глибин практично вичерпані. Експлуатація продуктивних горизонтів шахт Кривбасу з видобутку природно-багатих залізних руд супроводжується низькою інтенсивністю ведення очисних робіт, яка коливається в межах 1,2-1,8 т/м² на добу [6]. Що дає можливість формування компенсаційних камер лише в межах 8-12% від об'ємів основного запасу виймальних одиниць, за умови їх стійкості протягом всього терміну існування [7]. Тому відбійка руди здійснюється практично в затисненому середовищі, що сприяє, на значних глибинах, розвитку запресовування сипкого матеріалу [8, 9]. А зростання гірського тиску з глибиною ще більш ущільнює відбиту рудну масу у межах очисних панелей за рахунок гравітаційних сил [9]. В результаті чого створюються обмежені умови для випуску руди, що зумовлюють виникнення сил зчеплення між окремими частинками сипкого матеріалу в процесі їх руху до випускного отвору [8, 9].

Зарубіжний досвід підземної розробки родовищ корисних копалин свідчить про те, що істотне підвищення продуктивності праці на технологічному процесі випуску та доставки руди неможливо без застосування самохідної техніки [1-6]. Але її масштабному застосуванню, безпосередньо на технологічному процесі випуску і доставки, суперечать вимоги до якісного та кількісного складу видобутої рудної маси [4]. Тому одним із найбільш ефективних способів збільшення продуктивності технологічного процесу випуску та доставки руди в цьому випадку є застосування комбінованого способу за допомогою комплексу «багатоковшеві скреперні лебідки 55ЛС-2С – самохідна навантажувально-доставочна машина TORO 400Е» [10]. Продуктивність даного комплексу за середніх умов може досягати 1200-1400 т/зміну, що забезпечує інтенсивність випуску руди в межах 5,5-6,0 т/м² на добу.

Постановка завдання. Метою роботи обґрунтування доцільності комплексного застосування самохідної гірничої техніки у процесі відпрацювання покладів природно-багатих залізних руд на великих глибинах в умовах шахт Кривбсу на основі техніко-економічного порівняння з традиційним варіантом технології підповерхового обвалення.

У цьому випадку був обраний блок з усіма фактичними показниками [11]. Відпрацьована панель знаходилась у поверсі 1265-1190 м в осях 140-147 покладу «Основний» в полі шахти «Більшовик» ПАТ «Кривбасзалізрудком». Потужність покладу змінюється від 25 до 40 м. Балансові запаси руди в очисній панелі склали у середньому 340,4 тис. т. Поклад II класу розробки, представлений рудами з коефіцієнтом міцності $f = 5-7$ за шкалою професора М. М. Протодьяконова, а породи, що його вміщують: з лежачого боку – $f = 7-9$; з висячого боку – $f = 9-11$. Кут падіння рудного покладу коливається в межах 52-57°.

Відпрацювання виймальних одиниць очисних блоків традиційним варіантом технології підповерхового обвалення здійснювалось за допомогою стаціонарного переносного гірничого обладнання.

У процесі розробки частини рудного покладу розробленим варіантом технології очисного виймання застосовується таке обладнання: бурові каретки типу Boomer 104 (Atlas Copco) і навантажувально-доставочна машина типу EST 2D (Atlas Copco) для проходки горизонтальних гірничих виробок; станок Robbins 97RL (Atlas Copco) для проходки вертикальних і похилих підняткових виробок; установка Solo 5-7P (Sandvik Mining) для буріння глибоких свердловин; багатоковшеві скреперні лебідки 55ЛС-2С («Компані Плазма») у комплексі із самохідною навантажувально-доставочною машиною TORO 400E (Atlas Copco) для доставки руди, що дозволяє інтенсифікувати процес випуску на рівні 5,5-6,0 т/м² за добу. Кріплення гірничих виробок здійснюється за допомогою анкерів із затягуванням металічними тросами і сіткою з використанням склопластикових ресорних підхватів [12]. Вилучення руди із обвалених запасів очисних панелей здійснюється за допомогою лінійно-почергового режиму випуску [13].

Показники вилучення розраховувались за допомогою фізичного [13] і чисельного [14] моделювання технологічного процесу випуску. Техніко-економічні розрахунки були виконані з урахуванням діючих цін на матеріали і обладнання та заробітної плати гірників, за методикою, яка викладена у роботі [15, с. 190-211] і за допомогою розробленої економіко-математичної моделі [16]. Ефективність доводилась по факту реалізації видобутої рудної сировини на ринку, на основі собівартості 1 т видобутку (франко-люк). Так як витрати, які входять у загальну шахтну собівартість, за винятком франко-люк, для обох розглянутих варіантів вважались однаковими.

У процесі проведення досліджень використовувались: конструктивно-функціональний аналіз і синтез технологічних процесів очисного виймання; фізичне і чисельне моделювання високо-інтенсивного технологічного процесу випуску руди під обваленими породами; технологічне проектування і техніко-економічна оцінка схем процесів очисного виймання природно-багатих залізних руд.

Викладення матеріалу та результати. На основі проведених досліджень і розроблених рекомендацій для відробки покладів природно-багатих залізних на великих глибинах розроблена типова технологічна схема підповерхового обвалення з відбійкою руди глибокими свердловинами на похилій компенсаційній простір з комбінованою доставкою рудної маси за допомогою комплексу «багатоковшеві скреперні лебідки 55ЛС-2С – самохідна навантажувально-доставочна машина TORO 400E» (рис. 1).

Організація гірничих робіт полягає в наступному. У першу чергу проходять на рівнях технологічних підповерхів, у породах лежачого боку покладу господарчо-транспортно-вентиляційний штрек 1, площею поперечного перетину 14 м², за допомогою прохідницьких комплексів, що складаються з бурової каретки типу Boomer 104 і навантажувально-доставочної машини типу EST 2D. У господарчо-транспортно-вентиляційного штреку 1 формують вузол розвантаження селективних потоків рудної маси 3 в капітальні рудоспуски 4, діаметром 3 м, які пройдені до концентраційного горизонту за допомогою бурового комбайна типу Robbins 97RL. З господарчо-транспортно-вентиляційного штреку 1 проходять навантажувально-доставочно-господарчі орти 5, які збиваються між собою підсичним штреком висячого боку 8, площею поперечного перетину 12 м². З навантажувально-доставочно-господарчих ортів 5, на рівні підсич-

ного і бурового горизонтів, проходять похилі заїзди, з яких проходять підсічний орт 9 і буровий штрек 7, площею поперечного перетину 12 м².

З підсічного штреку 8 і підсічного орту 9 проходиться, безлюдним способом за один вибух, відрізний підняттявий 10, розміром 3,5×4 м.

Паралельно з проходкою підсічного штреку 8 і відрізного підняттявого 10, проходять за допомогою традиційного переносного обладнання ПП-25 з навантажувально-доставочно-господарчих ортів на рівні їх покрівлі штреки випуску і скреперної доставки 11, площею поперечного перерізу 6,2 м². Скреперні штреки 11 збиваються з вентиляційним ортом 12, площею поперечного перетину 3,6 м², з капітальним збірним вентиляційним підняттявим 6, діаметром 1,5 м, який пройдений до концентраційного горизонту за допомогою бурового комбайна типу Robbins 97RL.

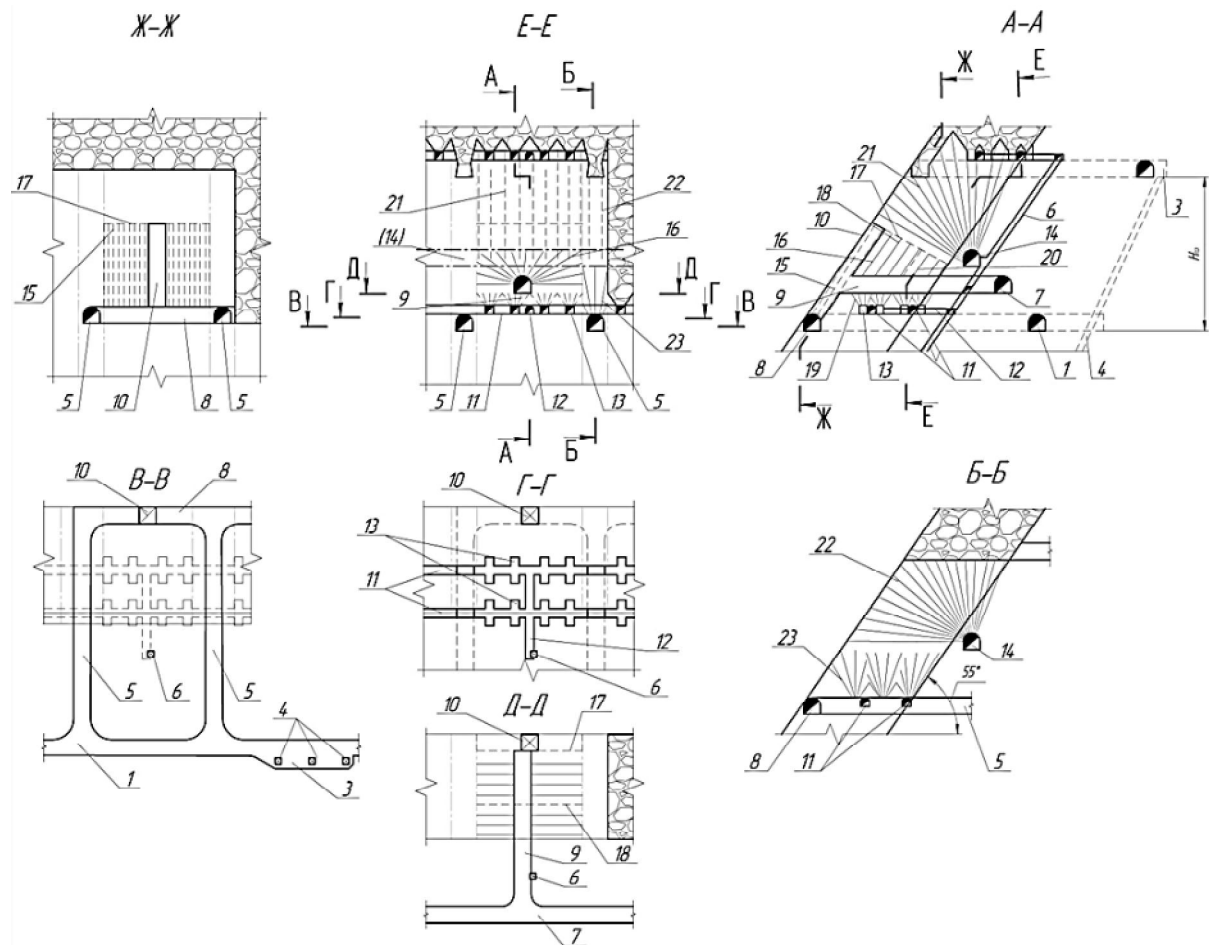


Рис. 1. Принципова технологічна схема варіанту системи підповерхового обвалення з використанням самохідного обладнання у процесі відпрацювання покладів природно-багатих залізних руд на глибоких горизонтах шахт Кривбасу

У другу чергу здійснюють формування відрізної щілини 17, шляхом поетапного, від центру до флангів, підривання комплектів віял глибоких свердловин 15, пробурених з підсічного штреку 8 самохідною буровою установкою типу Solo 5-7P. Навантаження відбитої руди при цьому здійснюється в підсічному штреку 8, а доставка по навантажувально-доставочно-господарчим ортам 5 – самохідною навантажувально-доставочною машиною типу TORO 400E.

З підсічного орту 9 здійснюється поетапна відбійка похилих віял глибоких свердловин 16, пробурених самохідною буровою установкою типу Solo 5-7P, на сформовану відрізну щілину 17 до формування похилої компенсаційної камери 18 стійких розмірів. По мірі формування компенсаційної камери 18, від висячого до лежачому боку, розгортають ніші 13 приймального горизонту у випускні воронки, шляхом підривання пучків штангових шпурів 19, пробурених переносним обладнанням ПТ-48.

На сформовану похилу компенсаційну камеру 18 здійснюється масова відбійка основного запасу панелі. На першому етапі здійснюється відбійка частини рудного масиву, від межі оголення лежачого боку компенсаційної камери до межі рудного покладу, віялами глибоких свердловин 20, пробурених з підсічного орта 9, тим самим, забезпечуючи підсічку розташованих вище запасів руди. На другому етапі, коротко-сповільнено всередині віяла, підривання вертикальних віял глибоких свердловин 21, пробурених з бурового штреку 14.

Випуск і первинна скреперна доставка рудної маси з випускних ніш 13 здійснюється рівномірно уздовж кожної виробки скреперної доставки 11 по черзі рівномірними дозами з приблизно однаковою періодичністю з кожної виробки випуску, від лежачого до висячого боку, формуючи на підшві навантажувально-доставочно-господарчого орту 5 акумуляційний майданчик об'ємом 40-90 т.

Вторинна доставка рудної маси від акумуляційних майданчиків до системи капітальних рудоспусків 4 здійснюється самохідною навантажувально-доставочною машиною типу TORO 400E.

Випуск руди з трикутника лежачого боку панелі здійснюється на вловлюючому горизонті бурового штреку 14, шляхом проходки зі нього бурових ніш, їх розвороту у випускні воронки і скреперною доставкою в рудоспуск на горизонт навантажувально-доставочно-господарського орта 5. Режим випуску та доставка рудної маси при цьому проводиться за таким же принципом, що і на основному горизонті.

Вторинна доставка рудної маси від акумуляційних майданчиків до системи капітальних рудоспусків 4 здійснюється самохідною навантажувально-доставочною машиною типу TORO 400E.

Після відпрацювання основного запасу панелі здійснюється відпрацювання запасів цілика навантажувально-доставочно-господарчого орту 5 виймальної одиниці, який огорожує панель. Очисні роботи у цьому випадку полягають у: відбійці запасів цілика на обвалені породи («затишене середовище») над навантажувально-доставочно-господарчим ортом 5, шляхом підривання віял глибоких свердловин 22, пробурених з бурового штреку 14; випуску обвалені рудної маси на підшві навантажувально-доставочно-господарчого орту 5, що здійснюється секційно від висячого до лежачого боку покладу через випускні воронки, які формуються шляхом підривання пучків свердловин 23 (штангових шпурів), пробурених в покрівлі навантажувально-доставочно-господарчих ортів 5; доставка рудної маси від випускних отворів до системи капітальних рудоспусків 4 здійснюється самохідною навантажувально-доставочною машиною TORO-400E.

Провітрювання очисних панелей на горизонті комбінованої доставки здійснюється за рахунок загальношахтної депресії: свіже повітря подається з господарчо-транспортно-вентиляційного штреку 1 по навантажувально-доставочно-господарчим ортам 5 в штреки випуску і доставки 1, звідки забруднене повітря видаляється по вентиляційним ортам 12 горизонту первинної доставки до збірних вентиляційним підняттєвих 6.

На горизонті підсічного орту 9 провітрювання здійснюється примусово за допомогою вентиляторів місцевого провітрювання.

На буровому горизонті провітрювання здійснюється за рахунок загальношахтної депресії.

Провітрювання навантажувально-доставочно-господарчого орту 5 здійснюється примусово за допомогою вентиляторів місцевого провітрювання.

Результати техніко-економічного порівняння варіантів технології підповерхового обвалення приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльні техніко-економічні показники традиційної і запропонованих варіантів технології очисного виймання

Найменування показника	Розмірність	Традиційний варіант технології підповерхового обвалення	Розроблений варіант технології підповерхового обвалення
1	2	3	4
Балансовий запас руди в блоці	тис. т	340,4	340,4
Пітомі витрати підготовчо-нарізних виробок	м/1000 т	5,08	3,27
	м ³ /1000 т	28,82	29,86

1	2	3	4
Продуктивність праці			
на бурінні свердловин	т/зміну	721,6	2886
на доставці	т/зміну	680	1300
за системою розробки	т/зміну	49,5	69,4
Час відпрацювання блоку	міс.	6,9	4,9
Середній вміст заліза			
в рудному масиві	%	61,07	61,07
в породах, що засмічують	%	36,41	36,41
у видобутій рудній масі	%	57,3	57,96
Втрати руди	%	19,5	16,9
Засмічення рудної маси	%	15,3	12,6
Обсяг видобутої рудної маси	тис. т	324	324
Відносне вилучення руди	част. од.	0,95	0,95
Собівартість видобутку 1 т руди за системою розробки	грн/т	143,26	137,83
Додаткові питомі капітальні вкладення	грн/т	–	10,70
Оптова ціна 1 т руди з вмістом заліза 62%	грн	1889,4	1889,4
Оптова ціна 1 т руди при даному вмісті заліза	грн	1741,7	1762,5
Прибуток від реалізації видобутої рудної сировини	грн	515545096	520490388
Загальний економічний ефект	грн	–	4945292
	%	–	10,1
Питомий економічний ефект	грн/т	–	14,5

Висновки та напрямок подальших досліджень. Отже, незважаючи на великі амортизаційні відрахування та інші витратні показники розробленого варіанту технології підповерхового обвалення з використанням сучасної самохідної гірничої техніки, було доведено ефективність його впровадження на практиці. Так як його застосування в практичних умовах дозволять підвищити економічну ефективність відпрацювання покладів природно-багатих залізних руд на великих глибинах в середньому на 10,1%, завдяки збільшенню кількісних і якісних показників вилучення відповідно на 2,6% та 2,7%, а також покращити якість видобутої рудної сировини на 0,66% (абсолютних). Також, у ході проведення досліджень, встановлено, що розроблена конструкція варіанту системи підповерхового обвалення із застосуванням самохідної гірничої техніки дозволять забезпечити економічний ефект на рівні 14,5 грн/т.

Подальші дослідження у рамках даної проблеми доцільно зосередити на вивченні комплексних заходів, що включають в себе нові технології розкриття та підготовки родовищ за допомогою самохідної прохідницької техніки.

Список літератури

1. **Ступнік Н. І.** Пути совершенствования технологи подземной разработки богатых руд Кривбасса / **Н. І. Ступнік, М. І. Кудрявцев, А. М. Басов** // Вісник Криворізького технічного університету. – 2010 – Вип. 26. – С. 23-26.
2. Перспективы технического и технологического перевооружения подземной добычи руды на глубоких горизонтах шахт Кривбасса / **В. Я. Тарапата, Ф. И. Караманич, В. С. Ричко** [и др.] // Вісник КТУ. – 2011 – Вип. 28. – С. 3-6.
3. **Ступнік М. І.** Техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування самохідної техніки на шахтах Кривбасу / **М. І. Ступнік, О. В. Калініченко, В. О. Калініченко** // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2012. – № 5. – С. 39-42
4. **Федько М. Б.** Підвищення якості рудної маси при вдосконаленні системи розробки підповерхового обвалення руди на підконсольний компенсаційний простір / **Федько М. Б., Зенюк Д. Ф.** // Качество мінерального сировини. – 2011. – С. 258-260.
5. Дослідження та удосконалення технології відпрацювання покладів з застосуванням самохідної доставочної техніки / **В. О. Калініченко, Н. Ю. Швагер, С. М. Чухарев** [та ін.] // Гірничий Вісник. – 2015. – Вип. 99. – С. 100-104.
6. Підвищення ефективності технологічного процесу випуску і доставки руди на базі використання самохідної навантажувально-доставочної техніки / **М. І. Ступнік, В. О. Калініченко, В. М. Тарасютін** [та ін.] // Вісник КНУ: Зб.наук.праць. – 2016. – Вип.41. – С. 141-146.

7. **Kosenko A.V.** Ways of increasing qualitative and quantitative recovery percentages of ore in conditions of deep horizons of the mines of Krivbass / **A.V. Kosenko** // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського: Серія «Технічні науки». – 2018. – Том 29 (68). – №2. – С. 245-250.

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

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

10. **Kosenko A.V.** Increase of efficiency of technological process of ore drawing and delivery of ore mass at development of deposits of natural-rich iron ores on large depths / **A.V. Kosenko** // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського: Серія «Технічні науки». – 2018. – Том 29 (68). – №3. – С. 101-105.

11. Проект № 148-20-11 нарезных и очистных работ в блоке 140-147 оси гор. 1220 м в п/эт. гор. 1265/1190 м зал. «Основная» п.ш. «Большевик» // ПАО «Кривбассжелезорудком» // шахта «Октябрьская» // г. Кривой Рог. – 2011 г.

12. **Кузьмин Е. В.** Современные тенденции в технологии подземной разработки рудных месторождений / **Кузьмин Е. В.** // Вестник Российской академии естественных наук. – 2015. – №4. – С. 2-4.

13. **Косенко А. В.** Дослідження технологічного процесу випуску руди на основі фізичного моделювання / **А. В. Косенко, В. М. Тарасютін** // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського: Серія «Технічні науки». – 2018. – Том 29 (68). – №4. – С. 73-79.

14. **Косенко А. В.** Шляхи підвищення ефективності розробки покладів природно-багатих залізних руд в умовах великих глибин / **А. В. Косенко** // Гірничий Вісник. – 2018. – Вип.103. – С. 70-75.

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

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

Рукопис подано до редакції 08.04.2019

УДК 622.236-047.44:622.232.72

О.О. ВУСИК, аспірант, А.М. ПИЖИК, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНОГО ТА ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗВИБУХОВОЇ РОЗРОБКИ ПОРОДНОГО МАСИВА ФРЕЗЕРНИМИ КОМБАЙНАМИ

Мета. Розглянути основні питання підвищення ефективності ведення відкритих гірничих робіт при застосуванні комбайнів пошарового фрезерування для розробки напівскельних і скельних гірських порід.

Методи. Теоретичний аналіз досліджень і узагальнення літературних джерел присвячених роботі комбайнів пошарового фрезерування в різних умовах розробки родовищ корисних копалин. Аналіз області застосування сучасних високопродуктивних машин пошарового фрезерування для досягнення максимальних показників їх роботи з урахуванням гірничотехнічних умов розробки порід.

Наукова новизна. Обґрунтовано можливість впровадження технології пошарового фрезерування гірських порід сучасними високопродуктивними кар'єрними комбайнами, як альтернатива діючій технології ведення відкритих гірничих робіт із підготовкою порід до виймання вибухом. Завдяки чому підвищуються техніко-економічні показники роботи гірничовидобувного підприємства і зменшується негативний вплив на навколишнє середовище.

Практична значимість. Аналіз дослідження дозволяє здійснити удосконалення технології розробки родовищ корисних копалин шляхом застосування кар'єрних комбайнів фрезерного типу, а також свідчить про достатню надійності їх роботи і необхідність впровадження їх на глибоких кар'єрах в складних гірничотехнічних і гірничо-геологічних умовах ведення гірничих робіт. 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.

Результати. Область застосування кар'єрних комбайнів визначається встановленими взаємозв'язками між технологічними параметрами роботи комбайнів фрезерного типу і параметрами елементів системи розробки родовищ корисних копалин враховуючи фізико-механічні властивості порід в діючих складних умовах відпрацювання залізрудних покладів. Обґрунтування раціональної роботи транспортного та виймально-навантажувального обладнання в якості кар'єрних фрезерних комбайнів є найважливішою умовою, котра забезпечить отримання максимальних показників роботи виймально-транспортного комплексу кар'єру при мінімальних витратах на розробку залізрудного покладу.

Ключові слова: гірська порода, пошарове фрезерування, гірничий комбайн, безвибухова розробка.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-80-84

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В гірничовидобувній галузі спостерігається тенденція погіршення основних виробничих і фінансових показників діяльності. Тому важливим для них є своєчасно визначитися з шляхами подолання складної ситуації. Дефіцит інвестицій та підвищення вартості енергоносіїв негативно впливають на гірничовидобувні підприємства та обумовлюють пошуку нових рішень пов'язаних з покращенням їх роботи. Одним з напрямків розвитку даних підприємств є дослідження і впровадження нових технологій розробки залізородних покладів.

Освоєння технології пошарового фрезерування напівскельних і скельних порід гірничими комбайнами на залізородних кар'єрах дозволить відмовитись від виконання буро-підричних робіт для підготовки порід для виймально-навантажувальних робіт. Через це останнім часом цікавість до даної технології тільки зростає, адже вона відкриває цілий ряд аспектів розвитку гірничовидобувних підприємств.

Впровадження високопродуктивних комбайнів пошарового фрезерування потребує більш детального вивчення для подальшого удосконалення діючої технології ведення відкритих гірничих робіт новими технологічними рішеннями.

Актуальність проблеми визначається складною ситуацією гірничовидобувної промисловості, відсутністю комплексного освоєння розробки залізородних покладів, низькою продуктивністю праці та ін. Виходячи з цього постає завдання обґрунтувати безвибухову технологію пошарового фрезерування гірських порід гірничими комбайнами з метою аналізу всіх аспектів прибутковості технології пошарового фрезерування для подальшого застосування її в умовах роботи залізородних кар'єрів.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблемам пов'язаним із створенням нових та удосконаленням діючих транспортних систем на глибоких кар'єрів було присвячено значна кількість досліджень в роботах таких видатних учених, як В.В. Ржевського, О.О. Кулешова, О.О. Співаковського, В.О. Щелканова, В.Л. Яковлева, М.В. Васильєва, В.П. Смірнова та ін.

В.В. Ржевський в своїх роботах [1,2] розробив основні вимоги до раціонального використання комплексів гірничого обладнання на глибоких кар'єрах. За результатами робіт сформовано таких два основних напрямки вирішення проблем пов'язаних з розробкою кар'єрів при досягненні значної глибини відпрацювання залізородного покладу, як розв'язання негативних наслідків при зростанні глибини відпрацювання родовищ корисних копалин та створення рекомендацій уникнення таких наслідків за рахунок застосування нових технологій і сучасної високоефективної гірничої техніки.

На сьогоднішній час розробка залізородних родовищ потребує переходу на безвибухову технологію пошарового фрезерування породного масиву. Це обумовлено географічним місцезнаходженням поблизу з населеними пунктами та складною конкурентоспроможністю гірничовидобувних підприємств. При традиційній технології розробки напівскельних і скельних порід потребується виконанням буро-підричних робіт, які підвищують собівартість видобутку залізородної сировини.

Найкращим виймально-навантажувальним обладнанням для здійснення безвибухової розробки напівскельних і скельних гірських порід є комбайни пошарового фрезерування [3,4]. Безвибухова технологія розробки родовищ корисних копалин останнім часом набуває цікавості в Україні з метою її поширення на гірничовидобувних підприємствах. Вона потребує детального дослідження, враховуючи достатню кількість виконаних робіт по цьому питанню [5–10]. Вищенаведені роботи потребують систематизації та узагальнення всіх векторів дослідження даного напрямку проблеми. Область можливого та ефективного застосування гірничих комбайнів пошарового фрезерування гірських порід розширюється завдяки проведенням і реалізацією досліджень робочого органу комбайна. Це дає надію на відпрацювання скельних порід значної міцності та абразивності в близькому майбутньому, що зробить технологію ведення відкритих гірничих робіт з реальним комплексним освоєнням безвибухової розробки родовищ корисних копалин.

Аналіз залежності продуктивності комбайна від показника міцності порід на одноосьове стиснення (рис. 1), свідчить про недостатнє дослідження цього взаємозв'язку, через відсутність врахування всіх факторів впливу. Тому, що від оптимального вибору показників роботи комбайна залежить ефективність його застосування.

Здійснений аналіз сучасного стану і розвитку гірничовидобувної промисловості України за останні роки свідчить про те, що її показники роботи значно нижчі у порівнянні показниками роботи закордонних гірничовидобувних підприємств. Одним з напрямків підвищення економічних показників даної промисловості є її комплексна модернізація, яка включає в себе технологічне переоснащення та впровадження нових технологічних рішень спрямованих на зниження собівартості видобутку корисних копалин.

Безвибухова технологія пошарового фрезерування гірських порід кар'єрними комбайнами з кожним роком розширює свою область застосування, завдяки відсутності буро-підривних робіт. Важливим моментом є те, що кар'єрні комбайни мають можливість відпрацьовувати породний масив складений з порід значної міцності, що дає підстави для дослідження і впровадження даної технології на глибоких залізрудних кар'єрах. І завдяки комбайновому способу відпрацювання порід підвищується чистота ведення відкритої розробки родовищ корисних копалин та зменшується собівартість видобутку залізрудної сировини.

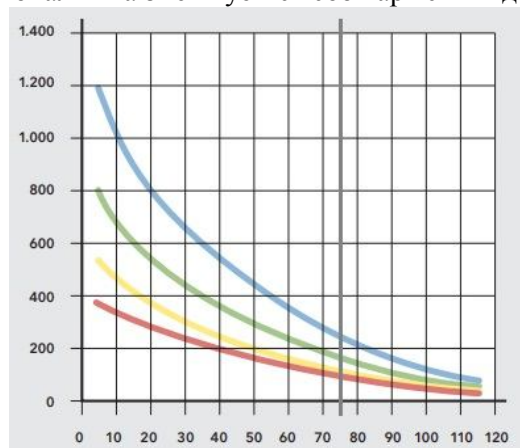


Рис. 1. Графік залежності продуктивності комбайна – вісь ординат від показника міцності породи на одноосьове стиснення – вісь абсцис (за матеріалами Wirtgen) де синя лінія – розпушені гірські породи, зелена лінія – мілко зернисті гірські породи, жовта лінія крупнозернисті гірські породи, червона лінія – скельні гірські породи

З виконаних досліджень випливає те, що для здійснення безвибухової розробки залізрудних покладів гірничовидобувним підприємствам потрібно застосовувати комбайновий спосіб розробки порід породного масиву.

Постановка задачі. Виконаний аналіз літературних джерел свідчить про необхідність підвищення ефективності ведення розробки залізрудних покладів і одним з варіантів вирішення даного питання є застосування технології пошарового фрезерування, але на даний немає достатнього вивчення і обґрунтування можливості її використання на залізрудних кар'єрах при відпрацюванні напівскельних і скельних гірських порід, чому власне і присвячена робота.

Дослідити і проаналізувати нові технологічні рішення стосовно застосування сучасної високопродуктивної техніки, які направлені на удосконалення ведення розробки глибоких кар'єрів з метою розширення області застосування технології пошарового фрезерування і в свою чергу покращити техніко-економічні показники гірничодобувного підприємства із зменшенням негативного впливу на навколишнє середовище.

рового фрезерування і в свою чергу покращити техніко-економічні показники гірничодобувного підприємства із зменшенням негативного впливу на навколишнє середовище.

Викладання матеріалу та результатів. Для вирішення поставлених завдань використовується комплексний метод, котрий враховує теоретичні узагальнення практичного досвіду традиційної та безвибухової розробки породного масиву, проведені в цьому напрямку численні моделювання на основі методу кінцевих елементів, а також техніко-економічний аналіз отриманих результатів виконаних досліджень.

Кар'єрні комбайни експлуатуються при веденні відкритих гірничих робіт так, як має хороші технічні показники (табл. 1) та низку різних технологічних переваг. До таких переваг відносяться маневреність, мобільність, можливість швидкого реагування на зміни гірничотехнічних умов ведення гірничих робіт, простота обслуговування агрегатів і вузлів фрезерного комбайна, незалежність його роботи від іншого гірничого обладнання.

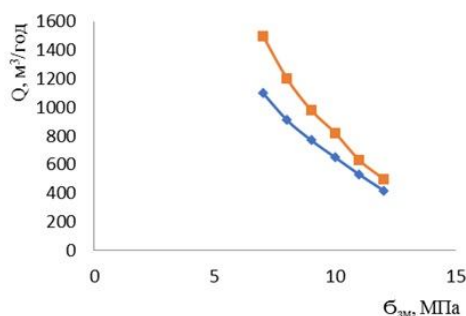


Рис. 2. Графік залежності продуктивності комбайна (Q , м³/год) від показника міцності породи на одноосьове стиснення ($\sigma_{зм}$, МПа)

них умов ведення гірничих робіт, простота обслуговування агрегатів і вузлів фрезерного комбайна, незалежність його роботи від іншого гірничого обладнання.

Практика застосування кар'єрних комбайнів свідчить про необхідність розробки нових або удосконалення діючих технологічних схем ведення розробки породного масиву, щоб даний вид виймально-навантажувального обладнання мав незалежність від іншого гірничотранспортного обладнання (рис. 2). За рахунок цього комбайн пошарового фрезерування досягає своїх максимальних показників своєї роботи.

До основних недоліків застосування кар'єрних

комбайнів фрезерного типу слід віднести:

- незначна довжина фронту робіт, що знижує його продуктивність;
- необхідність виконання значної кількості холостих ходів, через обмеженість відпрацьованого простору кар'єра;
- простої на очікування подачі автотранспорту.

В складних гірничотехнічних і гірничо-геологічних умовах розробка породного масиву при традиційній технології відзначається підвищенням витрат на виконання гірничих робіт. Комбайнами пошарового фрезерування здійснюється без попередньої підготовки порід до виймання вибухом, завдяки достатньо потужним енергосиловим показникам комбайнів, вони здатні відпрацьовувати напівскельні і скельні гірські породи і тим самим зменшувати вартість проведення розробки породного масиву.

Таблиця 1

Технічна характеристика комбайна Wirtgen 2600 SM	
Характеристика фрезерного барабана	
Максимальна ширина фрезерування	2600 мм
Глибина фрезерування	0±0,6 мм
Діаметр барабана враховуючи різці	1500 мм
Кількість різців	Залежить від умов роботи
Характеристика двигун	
Виробник двигуна	CUMMINS
Тип двигуна	QST 30
Охолодження двигуна	Водяне
Кількість циліндрів	12
Номинальна потужність двигуна	783 кВт / 1065 к.с. по стандарту DIN
Розхід палива при повному навантаженні	192 л/год.
Експлуатаційний розхід палива	96 л/год.
Стандарт токсичності викидів для США/Канади	Tier 2
Стандарт токсичності для інших країн	Tier 1
Електрична система	
Подача живлення	24 V
Заправна ємність	
Паливний бак	2400 л
Бак гідравлічного масла	500 л
Водяний бак	2800 л
Характеристика ходової	
Робоча швидкість	до 25 м/хв.
Розхід різців	
В умовах розробки порід середньої міцності	3÷18 шт / 1000т

Розробка гірських порід кар'єрними комбайнами є пріоритетною альтернативою традиційній буро-підривної розробці порід значної міцності. Завдяки цьому пояснюється її широке розповсюдження, так як розробка комбайновим способом характеризується підвищенням ефективності та економічності ведення відкритої розробки родовищ корисних копалин.

Висновки. З отриманих результатів дослідження можна зробити висновок, що застосування безвибухової технології пошарового фрезерування потребує детального вивчення раціонального вибору співвідношення між технологічними параметрами фрезерних комбайнів і технологічними параметрами іншого гірничого обладнання з врахуванням параметрів елементів системи розробки корисних копалин. При чому повинна забезпечуватись мінімальна вартість виконання виймально-навантажувальних робіт. Аналіз дослідницьких робіт свідчить про відсутність одного погляду, щодо переходу на безвибухову технологію пошарового фрезерування напівскельних і скельних порід і на основі цього виникає необхідність скомпонувати різні точки зору в один напрямок дослідження для отримання максимально достовірних результатів.

Отримані результати дозволяють стверджувати про ефективне застосування гірничих комбайнів, які покращуються показники роботи кар'єру та зменшує вартість розробки породного масиву в складних гірничотехнічних умовах глибоких залізородних кар'єрах.

Надалі будуть розглядатись більш детально всі взаємозв'язки технологічних параметрів комбайнів з іншим гірничотранспортним обладнанням з метою удосконалення технологічних схем розробки порід фрезерними комбайнами та розробкою рекомендацій застосування технології пошарового фрезерування.

Список літератури

1. Ржевский В.В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ / В.В. Ржевский. – М.: Недра, 1980. – 631 с.
2. Ржевский В.В. Комплексы оборудования и вскрытие рабочих горизонтов мощных глубоких карьеров / В.В. Ржевский, В.В. Истомин, В.И. Супрун // Горный журнал. – 1982. – №11. – С. 27-30.
3. Пихлер М. и др. Ввод в эксплуатацию карьерного комбайна Wirtgen 2200 SM на карьере Дубовецкого месторождения известняка ОАО «Ивано-Франковскцемент». // Горная промышленность. 2012. №2. С. 107-110.
4. Фризен А.П. Vermeer серии T1255 – универсальные машины для выполнения вскрышных и добычных работ в карьерах. // Горная промышленность. 2012. №3. С. 56-57.
5. Шапар А.Г. й ін. Ресурсозберігаючі технології видобутку корисних копалин на кар'єрах України. – К.: Наукова думка, 1998.
6. Виницкий К.Е. О ресурсосберегающих технологиях и комплексном освоении недр / Горные науки, промышленность. – М.: Недра, 1989.
7. Мининг С.Э., Мининг С.С. Об оценке стоимости запасов твердых полезных ископаемых // Горный журнал, 2002. – № 9. – С. 6–8.
8. Яковлев В.Л. Проблемы и перспективы развития открытых горных разработок // Проблемы геотехнологии и недроведения (Мельниковские чтения): Докл. международной конференции, 6-10 июля 1998 г. – Екатеринбург: УрО РАН, 1998. – Т. 2.
9. Воловик В.П., Голярчук Н.И., Бельченко Е.Н. Современное состояние горно-обогатительных комбинатов Кривбасса и перспективы их развития / Metallургическая и горнорудная промышленность, 2000. – № 4. – С. 59–61. – № 5. – С. 80–83.
10. Куделя А.Д. Комплексное использование минеральных ресурсов железорудных горнообогатительных комбинатов. – К.: Наукова думка, 1984

Рукопис подано до редакції 09.04.2019

УДК 681.5:621.311.1

О.О. ГРАММ, аспірант, О. І. САВИЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ПРЕДИКТИВНА ОЦІНКА НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОМБІНОВАНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯМ

Мета. Метою даної роботи є розробка алгоритмічного забезпечення підсистеми прогнозування рівня споживання електричної енергії промисловими об'єктами з використанням комбінованих інтелектуальних методів на основі механізмів нечіткої логіки та оптимізації її функціонування за рахунок використання генетичного алгоритму для зменшення витрат на енергопостачання, підвищення надійності енергетичної мережі і досягнення максимальної енергоефективності підприємства в умовах енергетичної біржі.

Методи дослідження. Для вирішення поставленої задачі у роботі використовуються методи теорії систем автоматичного керування виробництвом, методи оптимізації систем автоматичного керування, методи нечіткої логіки і генетичного алгоритму і проведено аналіз доцільності використання методів комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна. У роботі удосконалено алгоритм прогнозування навантаження заснований на системі нечіткої логіки шляхом його оптимізації засобами генетичного алгоритму, що відрізняється від відомих врахуванням погодних умов і тривалості світлового дня, що має забезпечити зменшення відносної помилки прогнозування на 0,2 – 0,4% у порівнянні з відомими методами прогнозування рівня споживання.

Практична значимість. Практичне значення роботи полягає у розробці алгоритму предиктивної оцінки навантаження заснованого на комбінації механізмів нечіткої логіки і засобах генетичного алгоритму, використання якого дозволить зменшити фінансові втрати пов'язані з надмірними та недостатніми об'ємами замовлення електричної енергії в умовах єдиного енергетичного ринку, дозволить скоротити кількість випадків перевищення обмежень на споживання електричної енергії.

Результати. Результатом виконаної роботи є розроблені алгоритмічні та принципові схеми системи прогнозування рівня споживання електричної енергії, які дозволяють оптимізувати у реальному часі роботу нечіткої системи прогнозування навантаження шляхом оптимізації вагових коефіцієнтів її правил за допомогою засобів генетичного алгоритму, що являється основою для створення інтелектуальної системи автоматичного керування енергопостачання підприємства.

Ключові слова: автоматизація, нечітка логіка, генетичний алгоритм, прогнозування, попит, електроенергія, енергетична біржа, енергетичні мережі.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-84-88

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними задачами. Високі темпи технологічного розвитку та швидке зростання кількості населення планети призводить до збільшення споживання ресурсів, в першу чергу – енергетичних. Через це наявні мережі розподілу електроенергії в даний час являються дефіцитними. Одним із способів вирішення зазначених проблем є впровадження концепції розумної мережі. Функціонально розумна мережа повинна забезпечувати більш ефективно розповсюдження та використання енергії. Розумна мережа складається з декількох фундаментальних підсистем: інтелектуальні системи вимірювання та обліку; системи прогнозування попиту; системи динамічного керування мережею і накопичувачами енергії; системи регулювання навантаження і попиту [1]. У загальному випадку прогнозування навантаження використовується лише опосередковано для інформування споживачів про рівень споживання енергії, та для допомоги в управлінні потоками енергії [2, 3].

Але в сучасних умовах України питання прогнозування навантаження набуває значення фундаментального питання для здійснення ефективного керування розподіленням енергії промисловими підприємствами, так як в умовах енергетичного ринку замовлення енергії відбувається на наступний день і дуже важливо максимально точно спрогнозувати об'єми замовлення. Прогнозування навантаження може бути використано для підвищення ефективності використання енергії шляхом підвищення обізнаності користувачів і підвищення ефективності кінцевого процесу [4]. Розподіл енергії може бути більш ефективним саме завдяки точному прогнозуванню навантаження. Виробник електроенергії може передбачити, яким буде навантаження, і забезпечити його достатню кількість. А споживач може передбачати свої потреби і не виходити за межі свого замовлення, що дозволить уникнути зайвих затрат.

Аналіз досліджень і публікацій. Відома велика кількість алгоритмів прогнозування навантаження, серед яких: статистичні моделі, моделі часових рядів, моделі регресійного аналізу, експертні системи, мережі штучного інтелекту, системи нечіткої логіки і розрахункові інтелектуальні моделі. Питанням прогнозування рівнів навантаження для різних об'єктів присвячена велика кількість публікацій. Розглядається прогнозування споживання електричної енергії для об'єктів аеропорту [5] де для прогнозування пропонується використання ймовірнісного підходу. Також існують дослідження присвячені прогнозуванню споживання електроенергії на залізницях [6], у яких окремо розглядаються засоби нейронних мереж і генетичного алгоритму. Комбінації статистичних моделей та нейронних мереж використовуються при прогнозуванні споживання електричної енергії у окремих територіальних областях [7]. Виходячи з особливостей об'єкту для прогнозування обсягу споживання енергії світлосигнальним обладнанням аеропортів запропоновано використання багатofакторної регресійної моделі [8]. Багатofакторні регресійні моделі та моделі часових рядів також отримали поширення у прогнозуванні споживання для вугільних шахт [9]. При порівнянні якості прогнозування за допомогою різних підходів [10, 11] та їх комбінацій [12] можна зробити висновок про те, що використання комбінацій різних методів дозволяє зменшити відносну похибку прогнозування, а найбільшу точність прогнозування показують комбінації різних методів з нейромережовим підходом [13, 14]. Але комбінованій системі на основі нечіткої логіки і генетичного алгоритму не приділено значної уваги.

Постановка задачі. Поточна система розподілу електроенергії проектувалася і будувалася на ранньому етапі електрифікації більш ніж століття назад, і з того часу її архітектура не зазнавала значних змін [15]. У такій системі єдиним варіантом забезпечення достатньої якості обслуговування та надійності є створення надлишкової генерації та розподілу з надмірною потужністю для запобігання нестійкості системи та забезпечення можливості розвитку. Ця архітектура потребує вдосконалення, оскільки в усьому світі спостерігається швидке зростання попиту на електроенергію і її дефіциту, що призводить до збільшення кількості регіональних відключень. Ці відключення відбуваються через зменшення надлишкових запасів потужності до критичного рівня. Іншим важливим свідченням того, що модернізація діючої системи розподілу електроенергії критично необхідна є зростання рівня забруднення навколишнього середовища та інших негативних впливів на навколишнє середовище, які необхідно ліквідувати.

Для вирішення зазначених проблем враховуючи результати аналізу літературних джерел потребується розробка алгоритму прогнозування споживання електричної енергії, заснований на використанні засобів нейронних мереж для прогнозування і генетичного алгоритму для оптимізації нейромережевого підходу і скорочення відносної помилки.

Викладення матеріалів і результатів. Алгоритм прогнозування навантаження пропонується реалізувати у вигляді системи нечіткої логіки. Вхідними даними алгоритму прогнозування пропонується обрати час доби, історичне використання енергії, день тижня і метеорологічні умови. Важливим елементом системи прогнозування є підсистема генетичного алгоритму для налаштування параметрів функцій нечіткої логіки та правил, що виконує функцію максимізації продуктивності алгоритму прогнозування навантаження. Логічна схема алгоритму проілюстрована на рис. 1.

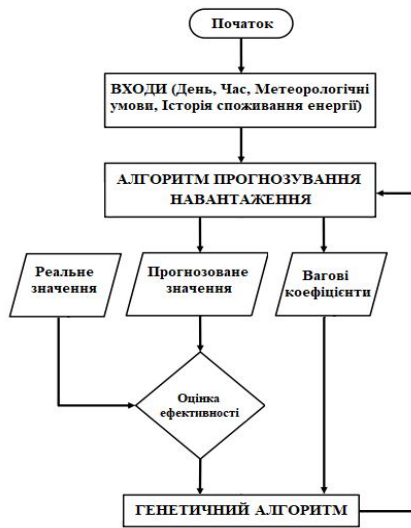


Рис. 1. Логічна схема алгоритму прогнозування на базі системи нечіткої логіки та генетичного алгоритму

Структуру системи нечіткої логіки для прогнозування навантаження зображено на рис. 2.

Чіткі значення передаються до системи нечіткої логіки і перетворюються на нечіткі значення через процес фазифікації. При цьому чіткому значенню присвоюється ступінь членства на основі того, якій функції належності воно відповідає.

Нечіткий висновок встановлюється за допомогою бази нечітких лінгвістичних правил. Вага кожного правила, що являється змінною для параметризації з використанням генетичного алгоритму, початково встановлюється в значення одиниці. Це означає, що кожне правило впливає на кінцевий результат однаково. Правила отримуються за допомогою апріорного знання про поведінку системи на основі наявного профілю навантаження.

Виходи нечіткого механізму об'єднуються з єдиним набором чітких вихідних сигналів для дефазифікації нечітких значень. Завдяки цьому отримується бажане чітке значення, що являє собою профіль прогнозованого навантаження.

Виходи нечіткого механізму об'єднуються з єдиним набором чітких вихідних сигналів для дефазифікації нечітких значень. Завдяки цьому отримується бажане чітке значення, що являє собою профіль прогнозованого навантаження.

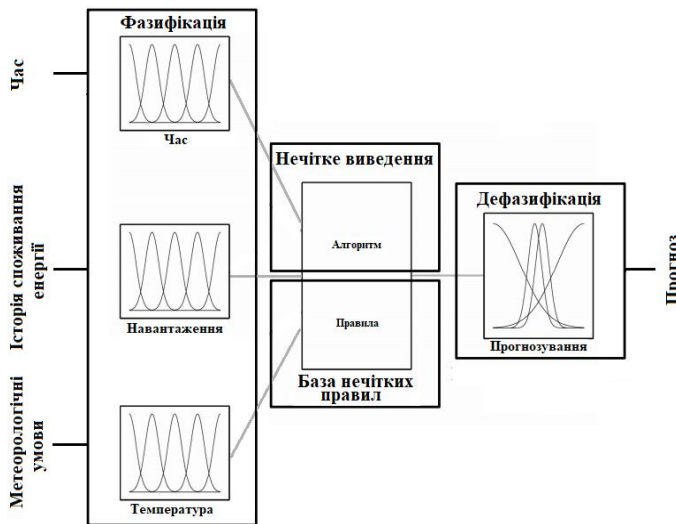


Рис. 2. Структура нечіткої системи прогнозування

Генетичний алгоритм використовується для оптимізації алгоритму прогнозування навантаження, його принципова схема зображена на рис. 3.

Змінними генетичного алгоритму обираються середні показники та відхилення (μ та σ) масиву історичних витрат електроенергії для кожної з нечітких функцій належності у всіх вхідних та вихідних нечітких множинах, а також вага кожного правила у базі нечіткого правила. Нижню і верхню межі для кожної із змінних показників електроенергії повинні бути визначені для того, щоб генетичний алгоритм міг збігатися з кінцевим рішенням, що отримується в межах нечіткого простору рішень.

Генетичний алгоритм функціонує на основі створення початкової популяції змінних, заснованої на кількості змінних і бажаному розмірі популяції. Кожне рішення оцінюється і ранжується відповідно до визначеної функції придатності.

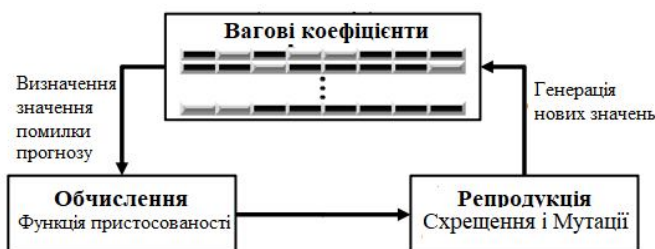


Рис. 3. Принципова схема генетичного алгоритму

Найбільш пристосовані рішення потім вибираються для вирощування наступного покоління вирішень, включаючи еволюційні ефекти, такі як схрещення гена і мутація. Важливими задачами при цьому являються визначення початкових апріорних припущень для створення початкових хромосом, визначення розміру популяції і максимальну кількість генерацій.

Функція пристосованості (1) генетичного алгоритму визначається як середнє з двох критеріїв ефективності. Це дозволяє гарантувати, що середня величина двох помилок буде зведена до мінімуму.

$$E_{\text{пристосованості}} = \frac{E_{\text{максимальне}} + E_{\text{загальне}}}{2}, \quad (1)$$

де $E_{\text{максимальне}}$ – різниця між прогнозованим максимальним досягнутим споживанням навантаження і реальним максимальним досягнутим споживанням навантаження протягом певного періоду часу;

$$E_{\text{максимальне}} = \frac{|\max(P_{\text{передбачення}}) - \max(P_{\text{реальне}})|}{\max(P_{\text{реальне}})} \times 100, \quad (2)$$

де $E_{\text{загальне}}$ – різниця між загальним об'ємом енергії, необхідним для забезпечення прогнозованого навантаження і виміряною спожитою енергією за певний період

$$E_{\text{загальне}} = \int_1^t \frac{|P_{\text{передбачення}}(t) - P_{\text{реальне}}(t)|}{P_{\text{реальне}}(t)} dt \times 100, \quad (3)$$

де $P_{\text{передбачення}}$ – прогнозоване споживання енергії, $P_{\text{реальне}}$ – реально виміряне споживання енергії

Метод генетичного алгоритму має бути реалізовано у вигляді стохастичної уніфікованої функції. У результаті цього процесу батьки зазнають двох основних процесів відтворення, схрещення і мутації. Для того, щоб принаймні чотири з більш слабких нащадків потрапляли до наступного покоління може бути прийнято метод елітизму.

Важливим питанням при реалізації генетичного алгоритму також є визначення відношення всієї чисельності популяції до її частини на яку впливало схрещення, і на яку впливали мутації. При цьому важливо визначити функцію переходу для забезпечення різноманітної популяції потомства і функцію мутації для посилення потенційно слабких хромосом і підвищення пристосованості популяції.

Після повного створення нової популяції починається створення наступного покоління. При цьому потомство попереднього покоління стає батьками у новому тесті функції пристосованості, і процес повторюється до досягнення максимальної кількості поколінь, або досягнення допустимого відхилення функції пристосованості.

Схематичний вигляд алгоритму прогнозування навантаження, генетичного алгоритму і процеси розрахунку критеріїв виконання наведені на рис. 4.

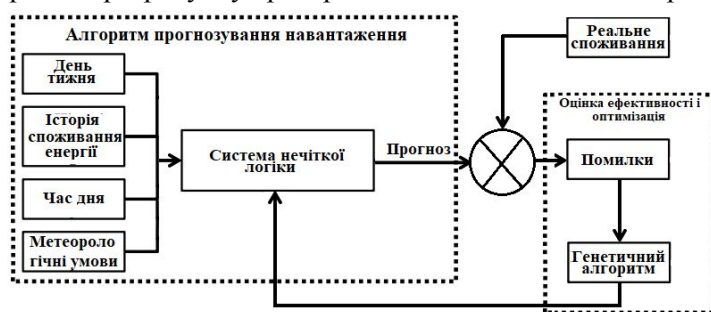


Рис. 4. Принципова схема комбінованого алгоритму прогнозування витрат електроенергії

Для розробки та реалізації алгоритму для кожної окремої задачі можна скористатися пакетом інструментів MATLAB®. Для моделювання системи нечіткої логіки використовується інструментарій fuzzylogictoolbox, а для створення

генетичного алгоритму - optimisationtoolbox.

Висновки і напрямок подальших досліджень. У роботі розглянуто можливість подальшого розвитку підходів до прогнозування споживання електричної енергії. Розроблено алгоритмічні схеми реалізації системи прогнозування на базі комбінації системи нечіткої логіки і генетичного алгоритму. Подальшим кроком у дослідженні є моделювання різних систем енергопостачання та їх комп'ютерних систем керування у пакеті інструментів для проведення оцінки якості її функціонування. При цьому важливим являється питання визначення відношення зростання часу потрібного для обчислення генетичного алгоритму до зростання показника точності прогнозування.

Список літератури

1. S. E. Collier, «Ten steps to a smarter grid,» in Rural Electric Power Conference. IEEE, pp. B2–B2–7, April 2009.
2. X. Wei, Z. Yu-Hui, and Z. Jie-lin, «Energy-efficient distribution in smart grid,» in International Conference on Sustainable Power Generation and Supply 2009, pp. 1–6, March 2009.
3. R. E. Brown, «Impact of smart grid on distribution system design,» in Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, IEEE, pp. 1–4, July 2008.
4. H. Farhangi, «The path of the smart grid,» Power and Energy Magazine, IEEE, vol. 8, pp. 18–28, January-February 2010
5. Соколова Н. П. Моделювання та програмне забезпечення прогнозування споживання електричної енергії об'єктами аеропорту / Н. П. Соколова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 2/8 (68), С. 8–2.
6. Омеляненко В. І. Автоматизована система прогнозування споживання електроенергії на залізницях / В. І. Омеляненко, Г. В. Омеляненко, Ю. П. Чудний // Міжнародний науково-технічний журнал «Світлотехніка та Електроенергетика». – 2009. – № 2. – С. 9–13.
7. Павлюк О. Інтегрована автоматизована система для прогнозування споживання електричної енергії у Львівській області / О. Павлюк. – Національний університет «Львівська політехніка», 2015.
8. Лещинський О. Л. Модель прогнозування обсягу споживання електричної енергії світлосигнального обладнання аеропорту / О. Л. Лещинський, В. С. Коновалюк, Н. П. Соколова // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 2/1(16). – С. 27–31.
9. Бурій С. В. Оцінка методів прогнозування електроспоживання підприємств на прикладі вугільної шахти / С. В. Бурій, В. В. Халімов // Наукові праці ВНТУ. – 2014. – No 2.
10. More B. R. Electric load forecasting in smart grid environment and classification of methods, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 5, Issue 7, July-2014, pp. 49–51.
11. Chemetova S., Santos P., Ventim-Neves M. (2016) Load Forecasting in Electrical Distribution Grid of Medium Voltage. In: Camarinha-Matos L. M., Falcão A. J., Vafaei N., Najdi S. (eds) Technological Innovation for Cyber-Physical Systems. DoCEIS 2016. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 470. Springer, Cham.
12. A. K. Singh, I. Ibraheem, S. Khatoun, M. Muazzam, D. K. Chaturvedi, «Load forecasting techniques and methodologies: A review», Power Control and Embedded Systems (ICPCES) 2012 2nd International Conference on, pp. 1–10, 2012.
13. R.-H. Liang and C.-C. Cheng, «Combined regression-fuzzy approach for shortterm load forecasting,» IEE Proceedings – Generation, Transmission and Distribution, vol. 147, pp. 261–266, July 2000.
14. G.-C. Liao, «An evolutionary fuzzy neural network approach for short-term electric power load forecasting,» in Power Engineering Society General Meeting, 2006. IEEE, 2006.
15. A. Mohd, E. Ortjohann, A. Schmelter, N. Hamsic, and D. Morton, «Challenges in integrating distributed energy storage systems into future smart grid,» in IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp. 1627–1632, July 2008.

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 622.625.28

Д.О. КАЛЬМУС, ст. викладач, Криворізький національний університет

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЯГОВИМ ЕЛЕКТРИЧНИМ ДВИГУНОМ ШАХТНОГО ЕЛЕКТРОВОЗУ З РЕЛЕЙНИМ РЕГУЛЯТОРОМ СТРУМУ

Мета. Метою даної роботи є вдосконалення електричного приводу шахтного електровозу за рахунок застосування цифрової системи керування тяговим електричним двигуном з релейним регулятором струму, та знаходження за квадратичними критеріями оптимального за відхиленням керування, яке б забезпечувало максимальну швидкість при роботі шахтного електровозу в пунктах завантаження.

Методи дослідження. При проведенні розглянутого в статті дослідження було використано методи безпосереднього спостереження та вивчення режимів роботи та графіків навантаження електроприводів, загальна теорія навантажень електроприймачів із змінним графіком навантаження, а також методи синтезу оптимальних систем із застосуванням функції Белмана – Ляпунова.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є узагальнення відомих методів розрахунків імпульсних електромеханічних систем і формулювання на цій основі уніфікованого методу з розробкою цифрової системи керування, яка б забезпечила ефективне функціонування електричного приводу шахтного електровозу при роботі в пунктах завантаження.

Практична значимість. Отримані результати можна використовувати як розрахунково-аналітичний апарат на етапі ескізного проектування тягового електропривода при складанні методики розрахунку та розробки схемних рішень системи керування електромеханічними тяговими комплексами, а також для модернізації існуючого парку шахтного електровозного транспорту.

Результати. Вдосконалення теорії комплексного розрахунку систем з імпульсними перетворювачами та врахуванням процесів в системах регулювання й керування, а також специфіки експлуатації дозволить виконувати комплексне проектування систем імпульсного регулювання за критерієм досягнення найкращих показників роботи

електровозів, тобто мінімальний шлях гальмування – максимальна зчіпна вага, для заданої технічної швидкості. Застосування цифрових систем керування значно полегшує розрахунки зовнішніх і регулювальних характеристик електропривода, а отже, чергове завдання полягає в тому, щоб розробити методику розрахунку систем з імпульсними перетворювачами, враховуючи при цьому процеси в системах регулювання й керування, а також обмеження при роботі електрорухомого складу, наприклад по відхиленню, кількості пусків та часу завантаження.

Ключові слова: шахтний електровоз, електричний двигун, релейний регулятор, математична модель.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-88-92

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Шахтний електровозний транспорт завдяки його мобільності та низькому рівню енергетичних витрат набув широкого розповсюдження на гірничо-видобувних підприємствах України та світу в цілому. Через особливості експлуатації, що обумовлені геологічними умовами, виникає необхідність уніфікації основних вузлів приводу електровозу. До таких вузлів можна віднести, як тягові електричні двигуни (ТЕД), так і пристрої керування ними. Ефективні системи керування шахтними електровозами передбачають встановлення сучасного обладнання, але брак вільного міста для його розміщення, накладає жорсткі обмеження щодо його розмірів та ваги. Розвиток перетворювальної техніки, в плані створення нових елементів та способів керування ними, висуває нові цілі подальшого вдосконалення шахтного електровозного транспорту. Впровадження сучасних систем дозволяє зменшити кількість датчиків та каналів зв'язку, а також досягти повної уніфікації. Отже, актуальним виглядає питання пошуку законів та розрахунку параметрів системи керування електричним приводом електровозів, які мають забезпечити його ефективну роботу.

Аналіз досліджень і публікацій. Як показали результати досліджень, ефективність електровозного відкочування нерозривно пов'язана з удосконалюванням системи керування шахтних електровозів, оскільки в ряді випадків маса поїзда визначається умовами його роботи, виходячи з максимально припустимої швидкості руху й точності позиціонування. Досягнення необхідної безпеки руху повинно забезпечуватися високою ефективністю та точністю при роботі шахтного електровозу в пунктах завантаження [1-5].

Основні тенденції щодо реалізації вимог ефективності електроприводів, виглядають особливо актуальними для їхніх тягових варіантів у різних видах електрифікованого транспорту [9-11]. В свою чергу найбільший ефект спостерігається при впровадженні сучасних технологій на базі цифрових систем керування [11-13].

Постановка завдання. Дослідження та вдосконалення електричного приводу шахтного електровозу за рахунок застосування в ньому цифрової системи керування ТЕД. Для чого пропонується розробити систему керування ТЕД з релейним регулятором струму, та за квадратичними критеріями знайти оптимальне за відхиленням керування, що забезпечує максимальну швидкодію.

Викладення матеріалу і результати. Для шахтних електровозів характерною ознакою є циклічна робота, обумовлена періодичністю процесу відкочування руди. В таких умовах найбільш характерними показниками для дослідження режиму роботи ТЕД є навантажувальні діаграми, отримані за час рейсу. На рис. 1 показана діаграма струмового навантаження ТЕД типу ДТН-45 шахтного електровозу К-14 при постановці вагонеток типу ВГ-9 в пункт завантаження, в умовах горизонту 980 м., ш. «Родина», Криворізький залізорудний комбінат. Так при постановці вагонетки у пункт завантаження машиніст електровозу здійснив чотирнадцять пусків ТЕД, при цьому зафіксовано, що максимальне значення струму складає 320 А, що є більшим його номінального значення 204 А. Слід також зазначити, що при цьому допускається робота ТЕД з навантаженням, що перевищує його номінальне значення, тривалістю до 10 секунд. Тобто, у процесі завантаження вагонетки, для здійснення точного її позиціонування, машиністу доводиться робити зайву кількість пусків, що викликає струмові навантаження, а отже, й тягові зусилля що перевищують припустимі величини. Тобто, робота приводу електровозу в процесі завантаження відбувається в несприятливих умовах, а різко змінний характер струмового навантаження тягового двигуна визначається застосуванням недосконалої системи керування та суб'єктивізмом машиніста при виборі моментів перемикання режимів роботи, що особливо позначається при роботі в місцях завантаження й розвантаження гірської породи.

Об'єктом керування в системі автоматичного управління електровозом є ТЕД та перетворювач електричної енергії, які представляють собою силову частину електричного приводу.

Структура неперервної частини об'єкта керування з врахуванням дискретності керуючого впливу може бути записана [6]

$$W_{\omega(p)} = \frac{1 - e^{-pT}}{p} \cdot \frac{K_n}{T_e p + 1}, \quad (1)$$

де K_n та T_e - відповідно коефіцієнт підсилення та електромагнітна стала часу кола «перетворювач - двигун»; T - період дискретизації.

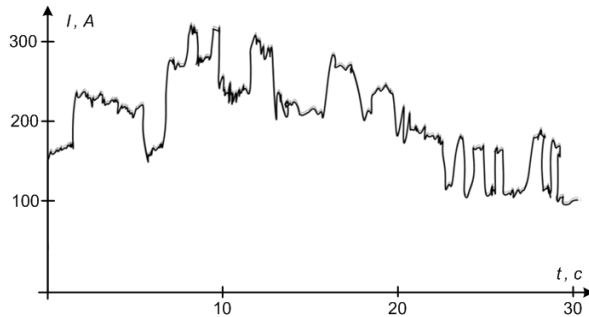


Рис. 1. Діаграма струмового навантаження тягового електричного двигуна типу ДТН-45

Передатна функція ланки у формі Z – перетворень матиме вигляд

$$W_{\omega(z)} = \frac{1 - e^{-\alpha T}}{Z - e^{-\alpha T}}, \quad (2)$$

де $\alpha = 1/T_e$.

Запишемо цифрове рівняння швидкості у вигляді

$$\omega_{k+1} - \omega_k e^{-\alpha T} = K_n U_k (1 - e^{-\alpha T}) = \omega_k e^{-\alpha T} + U_k (1 - e^{-\alpha T}), \quad (3)$$

де U_k - напруга перетворювача.

Виходячи з досвіду експлуатації та проведених досліджень [7, 8, 11], для зменшення кількості пусків ТЕД при роботі у пунктах завантаження пропонується стабілізувати швидкість електровозу, при цьому струм ТЕД необхідно обмежити на рівні номінального значення. Отже, для досягнення поставленої задачі, необхідно знайти таке керування, що переводить систему в координати із заданим значенням швидкості за мінімальний час з мінімальним відхиленням. Для пошуку оптимального керування застосуємо квадратичний критерій мінімуму інтегральної похибки, який в дискретній формі має вигляд

$$W = \sum_0^m C_{11} \omega_k^2, \quad (4)$$

де C_{11} - ваговий коефіцієнт.

Теорему Ляпунова в дискретній формі запишемо у вигляді [6]

$$V_{k+1} = \sum \frac{\partial V_{k+1}}{\partial x_k} x_{k+1} = -W_k, \quad (5)$$

де V_k - дискретна функція Ляпунова, W_k - функція що мінімізується.

Рівняння Белмана для оптимального керування будуть мати вигляд [5]

$$\frac{\partial \Phi_k}{\partial \omega_k} = 0; \quad \frac{\partial \Phi_k}{\partial U_k} = 0; \quad \min \Phi_k = \min \left\{ \omega_k + \frac{\partial V}{\partial \omega_k} \omega_{k+1} + \frac{\partial V}{\partial U_k} U_{k+1} \right\} = 0. \quad (6)$$

Функцію Белмана – Ляпунова будемо шукати у вигляді

$$V = \zeta_{11} \omega_k^2. \quad (7)$$

Для визначення коефіцієнту ζ_{11} похідні $\frac{\partial V}{\partial \omega_k}$ та $\frac{\partial V}{\partial U_k}$ помножимо на праві частини системи рівнянь об'єкта, й дорівняємо отриманий вираз функція що мінімізується

$$2\zeta_{11} \omega_k (-\omega_k e^{-\alpha T} + K_n U_k (1 - e^{-\alpha T})) = -C_{11} \omega_k^2, \quad (8)$$

Оскільки керування U_k входить у систему з лінійним множником, то воно буде визначатися виразом

$$U(\omega_k, k) = -\text{sign} K_n \left(\frac{\partial V_k}{\partial \omega_k} \right). \quad (9)$$

Дорівнюючи коефіцієнти при однакових ступенях ω_k знайдемо

$$\zeta_{11} = \frac{C_{11}}{2e^{-\alpha T}}. \quad (10)$$

Отже, знаходимо керування у вигляді

$$U = -\text{sign}K_n \left(\frac{\partial V_k}{\partial \omega_k} \right) = -\text{sign}K_n [2\zeta_{11}\omega_k] = -\text{sign}K_n \left[\omega_k \left(\frac{C_{11}}{e^{-\alpha T}} \right) \right] = -\text{sign}K_n [\gamma_1 \omega_k], \quad (11)$$

де

$$\gamma_1 = \frac{C_{11}}{e^{-\alpha T}}. \quad (12)$$

Таким чином замкнена система регулювання буде мати вигляд (рис. 2).

За наведеними виразами, для електричного приводу шахтного електровозу К-14 з ТЕД типу ДТН-45, у програмному середовищі MatLab було проведено моделювання та отримано графік струму в контурі ТЕД при імітації роботи в пункті завантаження (рис. 3).

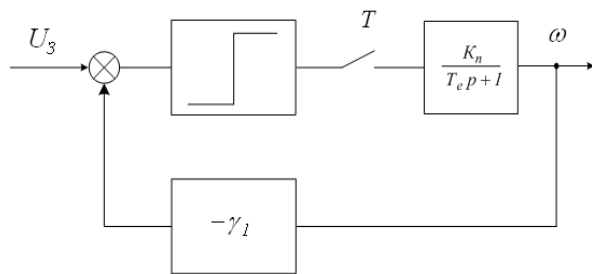


Рис. 2. Замкнена система регулювання

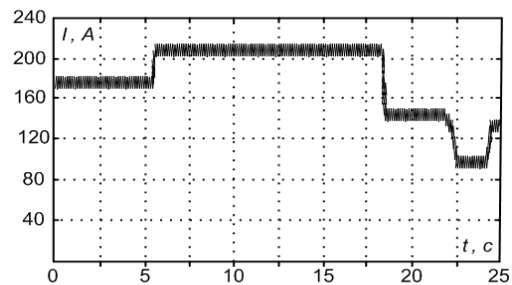


Рис. 3. Графік струму в контурі ТЕД типу ДТН-45

Наведені результати математичного моделювання показують, що за графіком (рис. 3), що відображає операцію завантаження вагонетки, можна відзначити, що у порівнянні з діаграмою (рис. 1), кількість пусків ТЕД при постановці вагонетки у пункт завантаження зменшується до п'яти. Також, треба зазначити, що час постановки вагонетки під завантаження скорочується з тридцяти двох до двадцяти п'яти секунд, а струм тягового двигуна, в процесі операції завантаження, не перевищує його номінальне значення.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Запропоновано алгоритм роботи шахтного електровозного транспорту в пунктах завантаження вагонеток. Згідно з цим алгоритмом розроблено систему керування ТЕД шахтного електровозу з релейним регулятором струму та отримано вирази для розрахунку її параметрів. Дослідження, за допомогою імітаційного моделювання, роботи системи керування електричним приводом шахтного електровозу К-14 з ТЕД типу ДТН-45, показує, що розроблена система з релейним регулятором струму, за таким показником як час перехідного процесу, не поступається системам підлеглого регулювання, та може бути реалізована програмно, у вигляді закону керування, що не потребує додаткового встановлення обладнання. Час завантаження вагонеток та кількість пусків для їх постановки зменшуються. Отже, розроблена система керування ТЕД з релейним регулятором струму може бути використана для вдосконалення електричного приводу шахтного електровозного транспорту.

Список літератури

1. Волотковский С.А. Рудничная электровозная тяга. -М.: Недра, 1981. - 389с.
2. Пироженко В.Х. Рудничные электровозы с тиристорным приводом. - К.: Техніка, 1981. - 159 с.
3. Синчук О.Н. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых элект-роприводов рудничных электровозов / О.Н. Синчук, И.О. Синчук, Н.Н. Юрченко, А.А. Чернышов, О.А. Удовенко, О.В. Пасько, Э.С. Гузов. Научное издание. – Киев: ИЕДНАУ, 2006. – 252с.
4. Тихменев Б.Н., Трахтман Л.Н. Подвижный состав электрифицированных железных дорог. - .М.: Транспорт, 1980. - 471 с.
5. Сейдж Э.П., Уайт Ч.С. Оптимальное управление системами. М.: Радио и связь, 1982. 392 с.
6. Чураков Е.П. Оптимальные и адаптивные системы. М.: Электроиздат, 1987. 256 с.
7. Sinchuk O., Kozakevich I., Kalmus D., Siyanko R. Examining energy-efficient recuperative braking modes of traction asynchronous frequency-controlled electric drives. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 1. No 1 (85). Pp. 50-56.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91912>.
8. Кальмус Д.О. Дослідження роботи системи гальмування з врахуванням зміни коефіцієнта зчеплення коліс електровозу з рейками. Електроніка та зв'язок. Київ, 2017. Том №22. №3(98). С. 40-45.

9. **Алексеев Н.И.** Оптимизация систем электрической тяги в подземных выработках шахт. - М.: Недра, 1979. - 252 с.

10. **Гаврилов Я.И., Мнацаканов В.А.** Вагоны метрополитена с импульсными преобразователями. - М.: Транспорт, 1986. - 229 с.

11. **Синчук О.Н.** Шахтный электровозный транспорт. Теория, конструкции, электрооборудование / О.Н. Синчук, Э.С. Гузов, В.Л. Дебелый, Л.Л. Дебелый; под ред. докт. техн. наук, проф. О.Н. Синчука. – Кривой Рог - Донецк: ЧП Щербатых А. В., 2015. – 296 с.

12. **Бирзниец Л.В.** Импульсные преобразователи постоянного тока. - М.: Энергия, 1974. - 256 с.

13. **Синчук О.Н., Чумак В.В., Ершов О.В.** Импульсные системы управления и защита на рудничном электровозном транспорте. Монография – АДЕФ – Украина, 1998. – 280 с.

Рукопис подано до редакції 03.04.2019

УДК 622.03-047.58:622.22

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

АНАЛІЗ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНО-ПРОСТОРОВОГО РОЗМІЩЕННЯ МІНЛИВОСТІ ВМІСТУ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН У МАСИВІ І ЗАЛІЗОРУДНІЙ МАСІ ШАХТ І КАР'ЄРІВ

Мета. Метою даної роботи є аналіз методів моделювання відособлених і взаємозалежних динамічних рядів природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин. Побудова моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічних рядів і використання базується на методах аналізу тимчасових рядів вмісту якісних показників корисних копалин.

Методи дослідження. Моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин пов'язане з узагальненням методу для ізольованих рядів. Розглянуто підходи для моделювання взаємозалежних динамічних рядів природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин. Побудовано адаптивну і дискретну лінійну модель прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічного ряду вмісту якісних показників корисних копалин множинної регресії та алгебраїчного критерію стійкості. Для моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічних рядів вмісту якісних показників використано алгоритм Марквардта, а для нелінійного методу – метод найменших квадратів.

Наукова новизна. Для ілюстрації методики послідовних операцій ідентифікації моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин відособлених рядів вмісту якісних показників залізорудної маси для дільниць рудного тіла і покладів родовищ Кривбасу розглянуто приклади визначення центрованої постійної моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак і розрахунок прогнозних оцінок вмісту якісних показників корисних копалин у масиві і залізорудній масі. Запроектовано рекомендації технології прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин окремих рівнів залізорудної маси з невеликими інтервалами дискретності.

Практична значимість. Рекомендована методика моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин і побудова моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин динамічних рядів, обмежується двома взаємозалежними динамічними рядами вмісту якісних показників корисних копалин.

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

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

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-92-99

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Побудова моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізорудній масі, динамічних рядів вмісту якісних показників і використання для прогнозування базується на методах аналізу тимчасових рядів вмісту якісних показників корисних копалин [1]. Було встановлено, що найбільш завершений і досконалий – метод Бокса-Дженкінса [2]. Основними перевагами моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показ-

ників корисних копалин є адаптивні властивості, точність прогнозування і можливість моделювання нестационарних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин. Досягається це за рахунок ефективного статистичного аналізу інформації характеристик об'ємно-якісних ознак окремих рівнів залізородних потоків, які пов'язанні технологічними процесами з узагальненням методів прогнозування ізольованих рядів природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників використання корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом, на взаємозалежні.

Аналіз досліджень і публікацій. Модель прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників використання корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом у методі [3–5] будується за вихідними даними C_1, C_2, \dots, C_n , або за перекрученими, якщо ряд вмісту якісних показників корисних копалин не є стаціонарним. Рівняння моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородної масі

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

де $X_t = C_t - \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n C_t$; φ_i – параметри авторегресії; θ_i – параметри ковзного середнього; ε_t – «білий шум» з постійною дисперсією прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородної масі.

Процес обчислення моделювання динамічного ряду вмісту якісних показників корисних копалин пов'язаний з визначенням величин p і q , оцінкою параметрів моделі φ_i в θ_i і діагностичної перевірки моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородної масі на адекватність. Основним інструментом для ідентифікації моделі прогнозування служать автокореляційна і частинна автокореляційна функції. Властивості автокореляційної функції процесу конкретного виду дозволяють ідентифікувати порядок ковзного середнього q . Аналогічним чином ідентифікується порядок авторегресії p виходячи з властивостей частинної автокореляційної функції [6–8].

Постановка завдання. Оцінка моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородної масі здійснюється у два етапи. Спочатку знаходяться початкові оцінки параметрів авторегресії і ковзний середній незалежно один від одного. При цьому початкова оцінка параметрів Φ_i визначається з рівнянь Юла-Уоркера [2]. Параметри ковзного середнього $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ знаходяться за допомогою простої ітеративної процедури. Для моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин більш високого порядку скористаємося алгоритмом Марквардта, а для нелінійного методу – метод найменших квадратів [9–11]. Після того як знайдені оцінки параметрів моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородної масі, які забезпечують мінімальні похибки рівняння моделі характеристик об'ємно-якісних ознак виконується для прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородної масі.

Викладення матеріалу та результати. Початкові оцінки параметрів моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородної масі є досить наближеними. Оцінка моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородної масі, яка приводить до більш точного прогнозування, здійснюється за допомогою мінімізації суми квадратів розбіжностей між реальними членами динамічного ряду і прогнозів, які зроблені на попередньому кроці. Мінімум цієї суми визначає «справжні» значення параметрів змішаної моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин авторегресії ковзного середнього позначається АРКС (p, q)

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

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

Для знаходження мінімуму функції S моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин авторегресії ковзного середнього розроблені різні методи. У випадку ($p=0;1$ і $q=0;1$) мінімум найпростіше знайти графічно. Для моделей третього і більш високого порядку використовується алгоритм Марквардта, а для нелінійного – метод найменших квадратів або його модифікації [12]. Після того як знайдені оцінки параметрів моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородній масі, які забезпечують у середньому мінімальні похибки прогнозу, рівняння моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак буде використане для прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородній масі. Маючи на увазі, що підібрана модель прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородній масі є неадекватною реальному динамічному ряду вмісту якісних показників корисних копалин. Це обумовлено неправильною ідентифікацією порядків моделі p і q або не стаціонарністю вихідних даних. Стаціонарність вихідних даних знаходимо по поводженню автокореляцій. Якщо автокореляції мають тенденцію зберігати постійні значення, то динамічний ряд вмісту якісних показників корисних копалин, який досліджується не є стаціонарним [13–15]. У цьому випадку динамічний ряд вмісту якісних показників корисних копалин необхідно перевернути, взявши перші різниці, а при необхідності і різниці більш високого порядку, перейшовши до нового динамічного ряду

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

Модель прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників різницевого динамічного ряду корисних копалин є змішаною моделлю прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин авторегресії проінтегрованого ковзного середнього позначається АРІКС (p, d, q), де d – порядок взяття різниць. Як показують чисельні розрахунки по сотнях динамічних рядів вмісту якісних показників залізородної маси для дільниць рудного тіла і покладів родовищ Кривбасу, порядки моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородній масі p і q не перевищує 2, а порядок взяття різниць d дорівнює 0 або 1. Перевірка адекватності знайденої моделі прогнозування характеристик природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників використання корисного компонента, пов'язаного з магнетитом у надрах, здійснюється за допомогою діагностичних перевірок, використовуючи статистику X^2 . Якщо діагностична перевірка приводить до неадекватності моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин процес оцінки повторюється, змінивши порядок моделі. При використанні комп'ютерних технологій для знаходження параметрів моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородній масі процедура оцінки спрощена. Враховуючи, що $p \leq 2$ і $q \leq 2$, послідовно оцінюється параметр конкуруючих моделей прогнозування з різними p і q і вибирається та з них, для якої S мінімальна [16]. Потім здійснюється діагностична перевірка тільки для цієї моделі прогнозування. Незважаючи на успішне вирішення теоретичних питань [1; 2; 8–10] у цій області, залишаються ще труднощі практичної реалізації методу, які обумовлені складністю оцінки параметрів таких багатовимірних моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородній масі і інтерпретації результатів моделювання вмісту якісних показників корисних копалин. Однак аналіз використання багатовимірних моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородній масі на вели-

кому фактичному матеріалі дає обнадійливі результати. Для моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин використано два підходи. Перший з них пов'язаний з побудовою адаптивних моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородній масі множинної регресії, другий – з побудовою дискретних лінійних моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородній масі, передаточних функцій та критерію стійкості [2; 17; 18]. Побудова адаптивних моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородній масі множинної регресії виконується на припущенні про лінійну залежність динамічного ряду вмісту якісних показників корисних копалин Y_t , який досліджується з динамічними рядами $X_{1,t}, X_{2,t}, \dots, X_{M,t}$, причому коефіцієнти зв'язку не є постійними. Допустивши, що прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородній масі на момент часу $t+\tau$ здійснюється за допомогою рівняння множинної регресії

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

Корегування вагових коефіцієнтів $\lambda_{i,t}$ здійснюється за правилом, яке використано в методі адаптивної авторегресії [4; 19]

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

де $\varepsilon_{t+\tau} = Y_{t+\tau} - \tilde{Y}_{t+\tau}$ – похибки прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородній масі; $\lambda'_{i,t}$ – це значення $\lambda_{i,t}$, яке отримане на попередньому кроці; $k = \alpha / 2 \sum_{i=1}^M X_{i,t}^2$ коефіцієнт адаптації; α – параметр адаптації, причому $0 < \alpha < 2$.

Оптимальне значення α знаходиться, як і у методі адаптивної авторегресії в процесі «навчання» моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородній масі. На початковому етапі будується звичайна модель прогнозування методом найменших квадратів.

Другий підхід до моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин пов'язаний з узагальненням методу Бокса-Дженкінса для ізольованих динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин. Розглядаючи методику побудови моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородній масі, обмежуючись для простоти двома взаємозалежними динамічними рядами вмісту якісних показників корисних копалин X_t і Y_t [20; 21]. Якщо Y_t і X_t – відхилення членів динамічних рядів від деякого зрівноваженого рівня відповідно на виході і вході динамічної системи. Рівняння моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородній масі характеристики ознак авторегресії ковзного середнього буде мати вигляд

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

де δ_i і ω_j – «лівобічні» та «правобічні» параметри моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородній масі; b – «параметр затримки».

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

$$(1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2 - \dots - \delta_r B^r) Y_t = (\omega_0 - \omega_1 B - \dots - \omega_s B^s) X_t, \quad (6)$$

або в більш компактному виді

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

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

Функція

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

є передаточною функцією моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізорудної масі авторегресії ковзного середнього [22, 23]. Враховуючи, що будь-яка динамічна система піддається збурюванню N_t , рівняння моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізорудної масі (7) запишеться у вигляді

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

Процедура ідентифікації моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізорудної масі містить у собі моделювання динамічного ряду X_t , зрівняння спектрів обох динамічних рядів, оцінку автокореляцій зрівняного виходу і взаємних кореляцій зрівняних входу і виходу, оцінку функції відгуку на одиничний імпульс і виділення випадкового компонента N_t [24–26]. Зрівнювання спектрів динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин X_t і Y_t здійснюється за формулами

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

де Φ_i і θ_i – параметри моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин авторегресії ковзного середнього, які отримані в результаті моделювання динамічного ряду вмісту якісних показників корисних копалин X_t .

Для перекручених динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин α_t і β_t по стандартним формулам знаходиться оцінка автокореляцій $r_{\beta\beta}(k)$ і взаємних кореляцій $r_{\alpha\beta}(k)$, а також оцінки функції відгуку на одиничний імпульс

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

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

Отриманні на цьому етапі оцінки $\tilde{\nu}_k$ статистично неефективні, але дозволяють ідентифікувати порядок операторів $\delta(B)$ і $\omega(B)$, а також величину затримки B [24–26]. Ідентифікація параметрів r , s і b ґрунтується на теоретичних властивостях функції відгуку $\tilde{\nu}_k$ в рівнянні (11) моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин. Після того як ідентифіковано порядок моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізорудної масі відновлюється випадкова складова модель N_t за допомогою рівняння

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

і за стандартною методикою [25–27] будується модель прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізорудної масі динамічного ряду N_t . Якщо при цьому отримана модель прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин авторегресії ковзного середнього має вигляд АРКС (p, q) , то модель взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин запишеться за формулою

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

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

Початкові оцінки «лівобічних» параметрів моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин передаточної функції δ_i моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин авторегресії ковзного середнього знаходиться з вирішення системи лінійних рівнянь

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

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

Початкові оцінки «правобічних» параметрів моделі прогнозування визначаються за формулами

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

Попередні оцінки параметрів δ_i , ω_i , Φ_k і θ_t надалі використовуються для одержання прогнозів і порівняння з фактичними даними. Остаточна оцінка моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородної масі і діагностична перевірка на адекватність здійснюється так як і для ізольованих динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин. При використанні комп'ютерних технологій розрахунок здійснюється за стандартними програмами.

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

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

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

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

У випадку, коли динамічний ряд вмісту якісних показників корисних копалин C'_i є стаціонарним, знаходиться зв'язок між характеристиками динамічних рядів C'_i і C_k . Для математичного очікування – $M(C) = M(C')$. Для визначення дисперсії $D(C)$ і автокореляційної функції $K_C(l)$ скористаємося властивостями підставляючи (16) у відповідні вирази для дисперсії і автокореляційної функції і після перетворень отримується

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

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

Висновки та напрямок подальших досліджень. Отримані теоретичні залежності рекомендовано для побудови агрегованих рядів, якщо відомі характеристики вихідного основного динамічного ряду об'ємно-якісних ознак вмісту якісних показників корисних копалин. Викладений підхід розширює можливості методу прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородної масі, що дозволяє вірогідно оцінити контрольовані характеристики на періодах управління перевищуючи оперативні, підвищуючи при цьому точність прогно-

зування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин. Основними перевагами моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізородної масі є її високі адаптивні властивості, висока точність прогнозування, а також можливість моделювання нестационарних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин. Досягається це за рахунок ефективного статистичного аналізу інформації.

Список літератури

1. Аврамов В. Е., Азбель Е. И., Ефремова Н. И. (1979). Планирование эксперимента и прогнозирование качества сырья на горных предприятиях. Новосибирск, Наука.
2. Бокс Дж., Дженкинс Г. (1974). Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1. М., Мир.
3. Гудков В. М., Васильев В. М., Николаев К. П. (1976). Прогноз и планирование качества полезного ископаемого. М., Недра.
4. Новые направления в маркшейдерии. Монография. (2010). / Сидоренко В. Д., Федоренко П. И., Шолох Н. В., Переметчик А. В. – Кривой Рог: Издательский центр КТУ. – 265 с.
5. Шолох Н. В. (2007). Оптимизация вскрытых запасов руды и направления горных работ в карьере. / Вісник КТУ. – Випуск № 16. – Кривий Ріг. – КТУ. – С. 42–44.
6. Шолох Н. В. (2005). Прогнозирование показателей геохимического поля месторождений железистых роговиков Кривбасса. / Разработка рудных месторождений. – Выпуск № 89. – Кривой Рог. – С. 144–147.
7. Шолох Н. В. (2002). Программный модуль оптимизации промышленных запасов на глубоких железорудных карьерах. / Качество минерального сырья. – Кривой Рог. – С. 290–293.
8. 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.
9. Шолох Н. В. (2005). Прогнозирование показателей геохимического поля месторождений железистых роговиков Кривбасса. / Разработка рудных месторождений. – Выпуск № 89. – Кривой Рог. – С. 144–147.
10. Шолох М. В., Сергеева М. П., Топчий О. Л. (2010). Визначення мінімального об'єму для усереднення рудної сировини. / Зб. наукових праць «Вісник КТУ». – Кривий Ріг. – Вип. 25. – С. 68–72.
11. Шолох Н. В., Топчий А. Л. (2014). Формирование качества полезного ископаемого и рудного сырья горно-рудных предприятий Кривбасса. / Збірник наукових праць «Гірничий вісник». – Науково-технічний збірник ДВНЗ «КНУ», – Випуск № 97. – Кривий Ріг. – 2014. – С. 26–30
12. Sholokh M. V. (2017). Methodology for the standardization losses of ready-to-extract solid minerals. / For participation in the 2nd International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Mining Industry». December 14, 2017, Kryvyi Rih. – 179.
13. 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.
14. Шолох М. В., Сергеева М. П. (2017). Економічна оцінка втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у залізородній масі. / Зб. наукових праць «Вісник КНУ». – Кривий Ріг. – Вип. 102. – С. 51–56.
15. Шолох М. В. (2017). Нормування балансово-промислових запасів залістистих кварцитів по ступеню підготовленості до видобування відкритим способом. / Науково – техн. збірник «Гірничий вісник» ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг. – Вип. 45. – С. 172–178.
16. Шолох М. В. (2017). Нормування готових до видобування балансово-промислових запасів залістистих кварцитів при відкритому способі. / Сб. научных трудов «Качество минерального сырья». – ФАП Черняховский Д. А. – Кривой Рог. – С. 471–478.
17. Шолох М. В. (2018). Вплив втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин на процес усереднення. / Зб. наукових праць ДВНЗ «КНУ» «Гірничий вісник» Науково-технічний збірник: Кривий Ріг. – Вип. 103. – С. 50–55. ISSN 2306-5435.
18. Шолох М. В. (2018). Маркшейдерське забезпечення прогнозування і управління якісними показниками при розробці залізородних родовищ. – С. 160–168. / Форум гірників–2018: матеріали міжнар. конф., 10–13 жовтня 2018 р. – Дніпро: Середняк Т. К. – 307 с. ISBN 978-617-7696-55-0.
19. Шолох М. В., Сергеева М. П. (2018). Моделирование характеристик об'ємно-якісних показників потоків залізородної 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.
20. Шолох М. В. (2018). Нормування балансово-промислових запасів залістистих 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.
21. Sholokh M. V., Sergieieva M. P. (2018). Taking into account of amount and quality of attracted in the booty of balanced on maintenance quality indexes minerals of supplies. – С. 29–32. / International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Resource-Saving Technologies of Mineral Mining and Processing». Book of Abstracts. – Petrosani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, –221 p. ISBN 978-973-741-615-5 (print).

22. Шолох Н. В. (1999). Горно-геометрический мониторинг прогнозирования качественных показателей железорудных месторождений. / Сб. научных трудов второго международного симпозиума «Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке». – Ялта. – С. 218–220.
23. Шолох Н. В. (2005). Прогнозирование показателей геохимического поля месторождений железистых роговиков Кривбасса. / Научно – техн. сборник «Разраб. рудн. месторождений». – Кривой Рог. – Вып. 89. – С. 144–147.
24. Шолох М. В., Топчий О. Л. (2012). Прогнозування якісних показників руд та порівняння їх ефективності. / Науково – техн. збірник «Гірничий вісник». – Кривий Ріг. – Вип. 95(1). – С. 78–82.
25. Шолох М. В., Топчий О. Л., Сергєєва М. П. (2013). Моделювання відосблених і взаємозалежних динамічних рядів для прогнозування якісних показників корисної копалини. / Зб. наукових праць «Вісник КНУ». – Кривий Ріг. – Вип. 35. – С. 55–60.
26. Шолох М. В., Топчий О. Л., Сергєєва М. П. (2013). Моніторинг прогнозування показників корисної копалини родовища на основі стохастичного моделювання відосблених і взаємозалежних динамічних рядів. / Сб. матеріалів міжнародної науково – техн. конференції. – Донецьк: ДонНГУ. – Вып. 3. – С. 47–52.
27. Шолох М. В. (2016). Моделювання динамічних рядів прогнозування якісних показників руди і корисної копалини у рудній сировині. / Науково – техн. збірник «Гірничий вісник» ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг. – Вип. 101. – С. 49–55.

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 622.235

А.Ю. АНТОНОВ, Ю.С. МЕЦ, П.И. ФЕДОРЕНКО, доктора техн. наук, профессора
Криворожский национальный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОГО МИКРОСЕКУНДНОГО ВЗРЫВАНИЯ

Цель. Установление зависимости качества дробления от эффекта усталости горных пород при многократно повторяющихся взрывных нагрузках.

Методы исследований. Проведенные теоретические изыскания и анализ циклического воздействия нагрузок механического характера на образцы различных горных пород подтвердили актуальность лабораторных исследований и дальнейшего промышленного эксперимента по изучению влияния многократных взрывных нагрузок и иницируемого ими эффекта усталости на прочностные свойства пород и качественные показатели разрушения.

Научная новизна. Изучен механизм циклического взрывного нагружения различной интенсивности, установлен экстремальный характер влияния взрывной усталости на качество дробления горных пород, получены новые возможности для разрушения массива.

Практическое значение. Решения, явившиеся результатом настоящих исследований, позволяют использовать эффект усталости горных пород при проектировании и проведении взрывных работ. Предложенные вариации использования данного эффекта практически не усложняют работы по монтажу взрывной сети, а дополнительные расходы будут минимальными. Использование эффекта усталости позволяет увеличить величину вновь образованной свободной поверхности и, соответственно, улучшить качество дробления при постоянных удельных расходах ВВ, а без повышения качества дробления можно существенно снизить энергозатраты на разрушение горных пород.

Результаты. Установлены зависимости качества дробления от числа циклов неразрушающего нагружения. При этом доказано наличие оптимального количества циклов, при которых эффект усталости наиболее эффективен. Так, дроблению способствует начальная стадия явления усталости (процесс разупрочнения), когда из общей массы микротрещин еще не начался рост крупных трещин. Насыщенные микротрещинами породы легче и «качественнее» разрушаются на отдельности при взрывании основных зарядов. Вновь образованная поверхность на 30% больше, чем при взрывном разрушении без предварительного нагружения. Установлено, что максимальный результат достигается при повышенных удельных расходах ВВ с использованием малых интервалов замедлений (500-2500 мкс) между скважинами в ряду или встречно-направленным развитием взрыва между скважинами ряда или смежных рядов. Промышленные эксперименты подтвердили полученные зависимости для оптимизации нагрузок на разрушаемые породы с целью улучшения качества дробления. Реализация эффекта взрывной усталости при производстве массовых взрывов осуществлена на ряде карьеров Кривбасса. Установлено снижение выхода крупных классов (+400мм) в 1,5 раза и уменьшение диаметра среднего куска на 35%.

Ключевые слова: горные породы, взрывное нагружение, эффект усталости, циклические нагрузки, динамика разрушения.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-99-103

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Явление усталости в различных исследованиях рассматривалось как вредное, уменьшающее прочность целиков, опор и т.д. Поэтому конечной целью таких работ была разработка мер, снижающих этот эффект или учитывающих его. Испытание состояния объекта после разрушения не вели. В нашем случае

явление усталости горных пород рассматривается как полезное, способствующее разрушению массива и разупрочнению взорванных пород. Поэтому, основная задача настоящих исследований состоит в установлении зависимости качества дробления от эффекта усталости. Предстоит определить, при каких параметрах этот эффект способствует взрывному дроблению, а при каких замедляет его.

Анализ исследований и публикаций. Сущность эффекта усталости заключается в том, что при многократных, переменных во времени нагрузках, по величине ниже предела статистической прочности $\sigma_{ст.}$, в нагружаемом объеме породы растет количество местных ослаблений в виде микротрещин, что приводит к ее разрушению. Исследованиями установлено [1, 2], что если горную породу нагружать циклической нагрузкой ниже предела динамической прочности, то есть $\sigma_{ц} < \sigma_{дин.}$, то в этом случае даже при очень большом числе повторений предел прочности на разрушение остается при испытаниях таким же, как и в образцах, которые этим нагрузкам не подвергались. Это значит, что доля микротрещин и зон ослаблений не увеличилась. Из этого следует вывод, что если мы хотим использовать эффект ослабления, то необходимо обеспечить напряжения в объеме, превышающее $\sigma_{дин.}$ Установлено также [2], что $\sigma_{дин.}$ при механическом нагружении для разных горных пород различно и составляет $(0,8 \div 0,5)\sigma_{ст.}$ При этом $\sigma_{дин.}$ значительно снижается при росте числа циклических нагружений. Вместе с тем для горных пород характерно значительно меньшее число циклов N , при которых проявляется эффект усталости, чем для металлов, и что особенно важно, основной эффект наблюдается при небольшом числе циклов.

При взрыве заряда в окрестности скважины развивается давление порядка нескольких сотен тысяч атмосфер. При этом, движение волны сжатия сопровождается интенсивным образованием микротрещин [3-5], притом еще до выхода волны на свободную поверхность.

Постановка задачи. Для подтверждения теоретических предпосылок и установления количественных зависимостей усталости горных пород от параметров взрывного нагружения необходимо проведение лабораторных экспериментов на образцах магнетитовых кварцитов Кривбасса, подлежащих дальнейшему механическому дроблению, измельчению и обогащению, а при получении предполагаемых результатов - промышленная проверка эффекта усталости в различных условиях и вариациях опытов.

Изложение материала и результаты. Образцы для проведения лабораторных экспериментов представляли собой геометрические тела прямоугольной формы, изготовленные из монокристаллических руд.

В первой серии опытов была поставлена задача подтверждения наличия эффекта усталости в образцах магнетитовых кварцитов под воздействием многократно повторяющихся взрывных нагрузках. Рост интенсивности ослаблений (предположительно микротрещин) оценивался по снижению скорости звука в породе и изменению деформационных характеристик ϵ (продольных и поперечных). Расчетным путем определялись модуль упругости E (сжатия) и коэффициент Пуассона μ . Нагружение образцов осуществлялось на 100-тонном гидравлическом прессе по стандартной методике. Деформация измерялась индикаторами часового типа [2, 6, 7].

По результатам эксперимента были построены диаграммы зависимости напряжения σ - относительно деформации ϵ , давшие наиболее достоверные и надежные данные о свойствах пород и иллюстрирующие связь между нагрузкой и деформацией на всем протяжении опыта.

Построены графики изменения скорости прохождения звука в образцах перпендикулярно и параллельно слоистости, найдены уравнения с учетом всех опытных данных вместе с результатом их обработки (табл. 1).

При этом установлена закономерность: с увеличением числа нагружений существенно уменьшается скорость звука. С уменьшением удельного расхода ВВ крутизна падения скорости звука в образцах уменьшается.

Результаты экспериментов показали, что характер зависимостей взрывной усталости аналогичен установленным ранее другими исследователями закономерностям при механическом нагружении образцов специальными вибраторами. Однако в самой физике сравниваемых процессов есть существенная разница: если при механическом циклическом нагружении максимальная нагрузка по всему образцу не превышает предела прочности из-за плавного нарастания нагрузки, то при взрывном нагружении в отдельных частях нагружаемого массива действуют

нагрузки, значительно превышающие предел прочности, и только средняя нагрузка по всему образцу ниже предела прочности.

Кроме того, нарастание и спад нагрузки происходит в промежутки времени, значительно более короткие. Очевидно, это является основной причиной того, что значительное разупрочнение материала наступает при единицах и десятках циклов нагружений, в то время, как при механическом этот факт начинает просматриваться, начиная с нескольких сотен и тысяч циклов.

Таблица 1

Эмпирические уравнения влияния предварительного взрывного нагружения на скорость звука в магнетитовых кварцитах

Условия взрыва	Расстояние от ВВ до образца, мм	Уравнения изменения скорости звука в образцах	Индекс корреляции	Надежность индекса корреляции
Параллельно слоистости	2,7	$C=2100+3190 e^{-0,055N^2}$	0,88	53
	3,6	$C=2100+3280 e^{-0,055N^2}$	0,36	44
	4,5	$C=2200+3280 e^{-0,027N^2}$	0,94	72
	5,4	$C=2250+3350 e^{-0,02N^2}$	0,87	44
	6,3	$C=2250+3360 e^{-0,019N}$	0,85	38
Перпендикулярно слоистости	2,7	$C=1500+3880 e^{0,12N^2}$	0,84	36
	3,6	$C=1600+3710 e^{0,05N^2}$	0,86	44
	4,5	$C=1700+3580 e^{0,02N^2}$	0,91	71
	5,4	$C=1780+3650 e^{0,02N^2}$	0,79	29
	6,3	$C=1800+3720 e^{0,044N}$	0,82	30

Поэтому, основная задача исследований состоит в установлении зависимости качества дробления от эффекта усталости, т.е. установлении - при каких параметрах этот эффект способствует взрывному дроблению.

Исследована зависимость изменения диаметра среднего куска от числа циклов неразрушающего нагружения. Установлено, что с ростом числа циклов качество взрывного дробления закономерно растет, однако более интенсивно диаметр среднего куска уменьшается вначале. Отсюда, можно сделать вывод о том, что разрушающее взрывное нагружение вызывает рост трещин в массиве, который потом легче разрушается на более мелкие куски. При повышенной интенсивности неразрушающих взрывных нагрузок возрастание числа циклов нагружения улучшает взрывное дробление до определенного предела. Дальнейшее возрастание количества циклов нагружения ухудшает динамику разрушения.

Наличие оптимума объясняется следующим образом: после первых циклов неразрушающего взрывного нагружения в образце создается много мелких незамкнутых между собой трещин, размеры которых статистически варьируются. Последующие циклы нагружений, кроме добавления в массиве микротрещин, увеличивают размер трещин, уже образованных предыдущим нагружением. В дальнейшем, крупные трещины поглощают вносимую энергию от последующих циклов на свой рост. С увеличением числа циклов в массиве преобладает рост нескольких больших трещин, в дальнейшем раскалывающих массив на крупные отдельные. Большие «раскрытые» трещины являются экраном для волн напряжений, что ухудшает дробление отдельных за трещинами. Таким образом, дроблению способствует начальная стадия явления усталости, когда из общей массы микротрещин еще не начался рост крупных трещин, то есть доказано наличие оптимального количества циклов, при котором эффект усталости улучшает качество взрывного дробления. Вновь образованная свободная поверхность на 30% больше, чем при взрывном разрушении без предварительного нагружения. Следовательно, использование эффекта усталости, позволяющее увеличить величину свободной поверхности и, соответственно, улучшить качество дробления при постоянных удельных расходах ВВ, а без повышения качества дробления можно существенно снизить энергозатраты на разрушение горных пород.

Проведенные исследования подтвердили теоретические предпосылки о том, что эффект взрывной усталости горных пород существенно повышает, при определенных условиях, эффективность взрывного дробления.

Экстраполяция данных, полученных на образцах, на массив сделана с учетом того факта, что для магнетитовых кварцитов Криворожья иерархическая последовательность дефективности различных структурных уровней слабо выражена [8-10]. Магнетитовые кварциты в высокой степени монолитны. В то же время, даже при развитой структуре отдельностей горных пород в балансе энергозатрат на разрушение они (отдельности) играют подчиненную роль [10]. При циклических взрывных нагрузках, не превышающих некоторый пороговый уровень за счет диссипации энергии, происходит преимущественная активация и образование дефектов высоких порядков. Фактически происходит преобразование структурных характеристик массива [9] так, что более энергоемкими являются дефекты более высоких порядков.

Для реализации взрывной усталости в промышленных условиях при производстве массовых взрывов разработан и проверен на карьерах ГОКов Кривбасса ряд инженерных решений.

В частности, достижение эффекта усталости при повышенных удельных расходах ВВ осуществляется с применением малых интервалов замедления (500-2500 мкс) между скважинами в ряду или встречно-направленным развитием взрыва между скважинами ряда или смежных рядов. Результаты промышленных взрывов подтвердили полученные зависимости. Так, при разрушении магнетитовых кварцитов крепостью $f=18-20$ по шкале М.М. Протодеяконова, установлено снижение выхода крупных классов (+400 мм) в 1,5 раза и уменьшение диаметра среднего куска на 35 %.

Выводы.

1. Установлено, что предварительное нагружение даже при небольших затратах энергии, по сравнению с энергией дробления, повторяемое многократно, создает усталостные микротрещины в массиве, что способствует улучшению качества взрывного дробления основными зарядами.

2. Установлено, что влияние взрывной усталости на качество дробления носит экстремальный характер в отличие от предела прочности, который с увеличением числа циклов асимптотически убывает.

3. Доказано, что в отличие от усталости при механических нагрузках, проявляющихся при количестве сотен и тысяч циклов, взрывная усталость заметно проявляется при единицах циклов, что дает возможность использования этого эффекта при взрывном разрушении.

4. Разработанные методы реализации явления усталости при промышленной взрывной отбойке обеспечивают повышение качества дробления на 35%, а при неизменном качестве дробления позволяют существенно уменьшают расход ВВ.

Список литературы

1. Миндели Э.О., Мохначев М.П., Громова Н.В. Исследование прочностных и деформационных свойств горных пород при статических многократных и пульсирующих динамических нагрузках / Э.О. Миндели, М.П. Мохначев, Н.В. Громова // М.: изд. ИГД им. А.А.Скочинского, 1970.
2. Мохначев М.П. Усталость горных пород. М.: Недра, 1979.
3. Нисимацу Ю., Херосево Р. Влияние среднего напряжения и амплитуды напряжения на постоянные скорости усталостного разрушения горных пород / Ю.Нисимацу, Р. Херосево // Дзайре, 1971. - Т. 20. - № 209.
4. Киркхоф Ф. Модуляция хрупкой трещины упругими волнами, 1997. - М.: Мир. - С. 56-72.
5. Черепанов Г.П. О распространении трещин в сложной среде / Г.П. Черепанов // Журнал Прикладная математика и механика, 1987. -Т.31. - № 3. - С.17-23.
6. Федоренко П.Й., Подойніцина Т.О., Переметчик А.В. Визначення фізичних параметрів гірських порід / П.Й. Федоренко, Т.О.Подойніцина, А.В. Переметчик // Мінерал, Кривий Ріг, 2008. - 101 с.
7. Федоренко П.Й., Сидоренко В.Д., Шолох М.В. Фізика гірських порід. Видавничий центр КТУ, Кривий Ріг, 2009. - 147 с.
8. Миндели Э.О., Мохначев М.П. Сопротивление горных пород разрушению при динамической нагрузке / Э.О. Миндели, М.П. Мохначев // Горный журнал, 1971. - № 5.
9. Шемякин Е.И., Ревнивцев В.И., Фаддеев Н.Н., Петров А.С. О подходе к оценке энергозатрат на дезинтеграцию руды // Обогащение руд, 1981. - № 6.
10. Фаддеев Н.Н., Труфакин Н.Е., Шемякин Е.И. О математическом описании дезинтеграции пород иерархической дефектной структуры / Н.Н. Фаддеев, Н.Е.Труфакин, Е.И. Шемякин // ФТПРПИ, 1980. - № 6.

Рукопись поступила в редакцию 05.04.2019

МЕТОД ОТРИМАННЯ ВИСОКИХ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗБАГАЧЕННЯ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ОКИСЛЕНИХ РУД

Мета. Визначення можливості отримання високоякісного концентрату при збагаченні окислених залізистих кварцитів.

Методи дослідження. Аналіз раніше виконаних досліджень і розробок з переробки окислених залізних руд в Україні, СНД і країнах далекого зарубіжжя. При аналізі технологій переробки окислених руд, що дозволяють отримувати високоякісні концентрати з'ясовано, що найбільш перспективним напрямком робіт з підвищення якості концентрату є зниження вмісту шламів, утворених при рудопідготовці, які в подальшому погіршують якість магнітного продукту.

Наукова новизна. Ефективність переробки окислених залізистих кварцитів досягається шляхом оптимізації глибини їх збагачення, дозволяючи визначити граничні умови механічних методів розділення на основі розкриття, знешламлювання, магнітної сепарації мінеральних компонентів. Вибір оптимального технологічного обладнання для збагачення змішаних руд здійснюється на основі показників ефективності розділення.

Практична значимість. Підвищення ефективності процесів рудопідготовки і магнітної сепарації завдяки оптимізації глибини збагачення, зниженні процесу шламоутворення, та на основі поліпшення параметрів розкриття і сепарації мінеральних компонентів.

Результати. З'ясовано, що одним з основних методів збагачення окислених кварцитів є магнітне збагачення сировини у сильному полі. При використанні цього процесу основною проблемою отримання високоякісних концентратів є взаємна флокуляція рудних та нерудних частинок, а також наявність у сировині гідроксидів заліза, що утворюють плівку на поверхні нерудних мінералів і тим самим, за рахунок вилучення цих комплексів у концентрат, знижують якість кінцевих продуктів. На цій підставі виконано дослідження з магнітного збагачення окислених руд з попереднім знешламленням подрібненого матеріалу. За результатами досліджень знешламлення подрібненої руди перед збагаченням підвищує якість магнітного продукту та знижує втрати загального заліза в немагнітному продукті. Наслідком процесу знешламлення подрібненої руди є підвищення магнітної сприйнятливості для рудних зерен і зниження її для нерудних зерен. Дані дослідження дозволили визначити процес зниження контрастності рудних і нерудних мінеральних зерен в процесі подрібнення окислених залізистих кварцитів за рахунок покриття поверхневого шару дисперсними частками відповідно нерудних і рудних мінералів.

Ключові слова: окислені залізисті кварцити, подрібнення, знешламлення, магнітна сепарація, концентрат.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-103-107

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Україна має запаси залізних руд, які у процентному співвідношенні складають приблизно 13% від світових. Руди представлені переважно залізистими кварцитами, які містять 28-36% загального заліза. Запаси окислених залізистих кварцитів у Кривбасі складають 15-20% загальних запасів залізистих кварцитів [1].

Вирішенню проблеми збагачення окислених залізистих кварцитів у вітчизняній та закордонній практиках переробки залізорудної сировини приділяється значна увага у зв'язку з великою їх розповсюдженістю та одночасним видобутком при переробці багатих гематитомартитових руд і магнетитових кварцитів [2].

Раціональне використання мінерально-сировинного потенціалу надр Кривбасу визначається тією обставиною, що окислені залізисті кварцити які попутно видобуваються з магнетитовими в даний час створюють складну екологічну обстановку для навколишнього середовища.

Необхідність якнайшвидшого вирішення цієї проблеми визначається тим, що окислені залізисті кварцити, які містять гематит, мартит, гетит, гідрогетит і частково магнетит, є одним з основних джерел подальшого розширення сировинної бази чорної металургії України. Сьогодні більше половини потреби чорної металургії країни в залізорудній сировині покривається за рахунок концентратів, одержуваних з бідних магнетитових кварцитів, технологія переробки яких проста і добре освоєна.

Подальше розширення сировинної бази залізорудної сировини значною мірою здійснюватиметься за рахунок залучення в експлуатацію (видобутку і збагачення) окислених залізистих кварцитів як поточної видобутку так і техногенних родовищ.

Кількісне співвідношення головних рудних мінералів у рудах становить: гематит, мартит 20-65%, магнетит 1-12%, гетит 3-20%. Вкрапленість рудних зерен становить від 0,001 до 0,1

мм. Промислове використання, на сьогоднішній день, цих руд як сировинної бази для переробки відсутнє.

Аналіз досліджень і публікацій. В результаті такої експлуатації родовищ не раціонально використовуються багатства надр Кривбасу, непродуктивно засмічуються великі площі родючих земель, зайнятих під відвали (до 20 тис. га), забруднюється навколишнє середовище через розпилення руди. Крім того, щоб забрати руду зі складу для її подальшого збагачення потрібні нові витрати на її вантаження, транспортування до фабрики і усереднення. Тому найбільш економічною є схема, що передбачає збагачення окислених кварцитів які видобуваються паралельно з магнетитовими.

Крім того з заглибленням діючих кар'єрів і шахт відбувається подорожчання видобутку магнетитових кварцитів і багатих руд. У зв'язку з цим виникла необхідність широкого залучення в переробку окислених кварцитів.

За останні роки накопичено значний науково-технічний потенціал стосовно технологій переробки залізорудної сировини різного мінерального складу. У теперішній час залізорудна сировина з масовою часткою заліза магнітного менше ніж 15% практично не залучається у переробку, а складається у відвали [3].

В Криворізькому басейні 12% від загальних запасів руд складають саме окислені залістисті кварцити, а їх попутний видобуток досягає 15-30% від обсягу видобутку сирової руди. Станом на початок 2013 р. розвідані запаси магнетитових кварцитів п'ятьох гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу склали близько 5 млрд. т, запаси багатих залізних руд семи працюючих шахт басейну – близько 1 млрд. т, а прогнозні ресурси окислених кварцитів до глибини 1 км в межах гірничих відводів діючих гірничодобувних підприємств оцінюються в 50 млрд. т [4].

Руди різних типів відрізняються текстурно-структурними особливостями та мінеральним складом, що зумовлює необхідність використання різних методів і технологій їх збагачення. У зв'язку з цим, глибина збагачення та технологічні показники при переробці руди визначаються її речовинним складом, характером вкрапленості компонентів та ефективністю застосовуваних методів їх збагачення [5].

В зарубіжній практиці підготовка до збагачення бідних окислених і змішаних залізних руд (тонко-, середньо- і грубозернистих), а також багатих «землистих» руд застосовують переважно самоподрібнення (мокре і сухе), причому млини працюють у замкнутому циклі з вібраційними грохотами. В результаті збагачення вихідних бідних окислених і змішаних руд отримують гематитові концентрати з масовою часткою заліза 65-66% та 5-6% кремнезему. У ряді випадків досягається досить високе вилучення заліза в концентрат (76-86%) [6].

В якості основного технологічного обладнання, передбаченого при збагачення окислених залістистих кварцитів Кривбасу, прийнятий сепаратор 6ЭРМ 35/315. Промислова перевірка сепаратора проведена на ЦГЗК, де кілька років експлуатувався даний сепаратор [7,8].

За результатами випробувань вилучення гематиту в концентрат становить в межах 75%, а гідроксидів заліза – 44%, ефективність збагачення класу мінус 0,01 мм на сепараторі 6ЭРМ 35-315 не перевищує 5% [9].

Постановка задачі. Проектною схемою переробки окислених залізних руд на КГЗКОРі передбачено отримання магнітного концентрату з масовою часткою заліза 61% при вилученні 70% [10]. Така якість залізорудного концентрату не задовольняє вимогам сучасного металургійного виробництва. Все це зумовлює доцільність розробки нової, більш ефективної технології та техніки переробки окислених залізних руд на сепараторах вітчизняної конструкції.

Також був випробуваний процес мокрої магнітної сепарації в сильному полі для тонковкруплених таконітів штатів Міннесота і Мічиган (США), дуже близьких за складом окисленим кварцитах Кривбасу. Ці руди потребують для розкриття рудних мінералів дуже тонкого подрібнення, а як правило, містять землистий гематит і гетит. При їх подрібненні, зазвичай, утворюється велика кількість шламів, що погіршують показники збагачення. Гематит в рудах часто містить на поверхні сліди магнетиту, але гетит (більш слабомігнітний матеріал, ніж гематит), як правило, вільний від феромагнітних мінералів. Тому селективність процесу магнітної сепарації порушується, що знижує якість концентрату та вилучення заліза в концентрат. Це положення підтверджується проектною технологічною схемою КГЗКОРу.

Викладення матеріалу і результати. На підставі вище викладеного, виконано дослідження з магнітного збагачення окислених залістистих кварцитів Кривбасу з попереднім знешлам-

ленням подрібненого матеріалу та отриманням концентрату, що відповідає вимогам європейської якості.

Дослідження магнітного збагачення в сильному полі окислених залізистих кварцитів Кривбасу показали перспективність цієї технології.

Але в той же час при детальному вивченні магнітних властивостей подрібнених рудних мінеральних зерен встановлено їх мінливість за рахунок закріплення на поверхнях зерен марти-ту, гематиту дисперсних частинок пороудоутворюючих мінералів. Крупність поверхневого шару на рудних і нерудних зернах становить до 1 мкм (рис. 1-4).

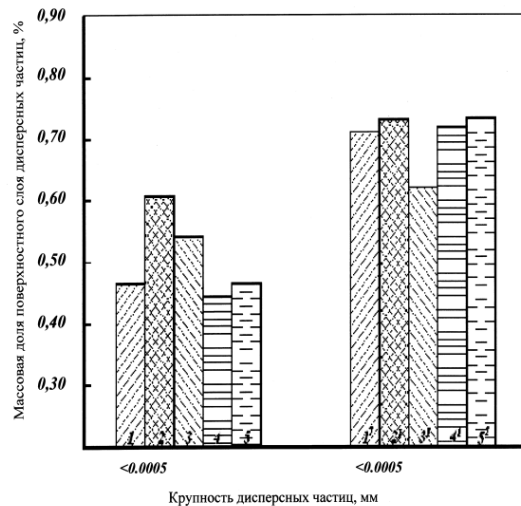


Рис. 1. Гістограми закріплення дисперсних частинок на нерудних зернах вихідної руди (1,2,3,4,5) і продуктах магнітного збагачення (1¹,2¹,3¹,4¹,5¹) при крупності подрібнення 70% класу-0,074 мм 1,1¹ - 4 з.г.; 2,2¹ - 5 з.г.; 3,3¹ - 6 з.г. Скелеватського родовища; 4,4¹ - 4 з.г.; 5,5¹ - 6 з.г. Валявкінського родовища

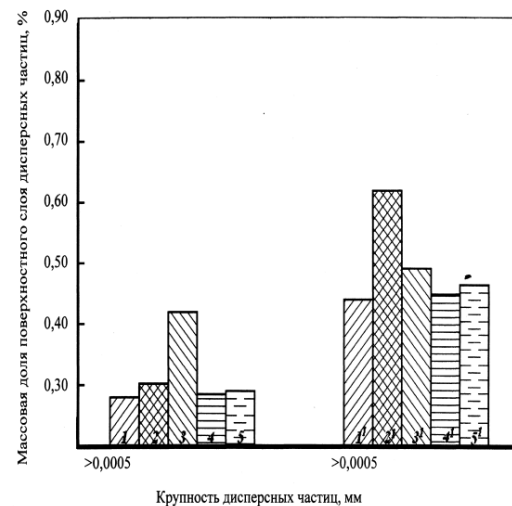


Рис. 2. Гістограми закріплення дисперсних частинок на нерудних зернах вихідної руди (1,2,3,4,5) і продуктах магнітного збагачення (1¹,2¹,3¹,4¹,5¹) при крупності подрібнення 70% класу-0,074 мм різних мінеральних різновидів Кривбасу 1,1¹ - 4 з.г.; 2,2¹ - 5 з.г.; 3,3¹ - 6 з.г. Скелеватського родовища; 4,4¹ - 4 з.г.; 5,5¹ - 6 з.г. Валявкінського родовища

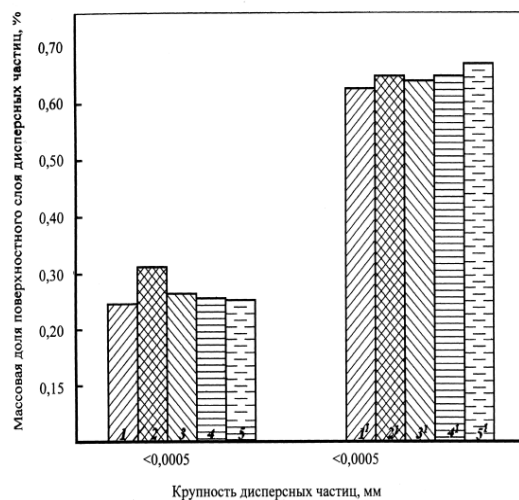


Рис. 3. Гістограми закріплення дисперсних частинок на нерудних зернах вихідної руди (1,2,3,4,5) і продуктах магнітного збагачення (1¹,2¹,3¹,4¹,5¹) при крупності подрібнення руди 70% класу -0,074 мм, 1,1¹ - 4 з.г.; 2,2¹ - 5 з.г.; 3,3¹ - 6 з.г. Скелеватського родовища; 4,4¹ - 4 з.г.; 5,5¹ - 6 з.г. Валявкінського родовища

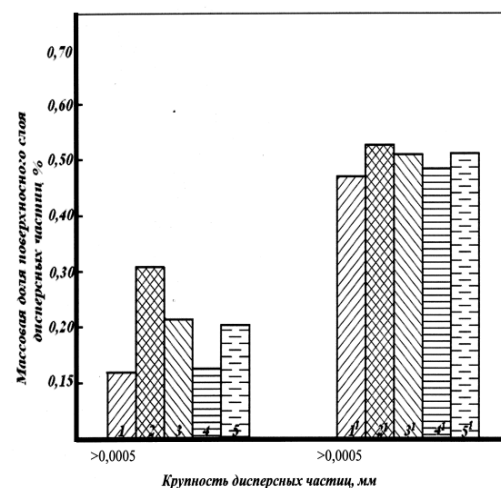


Рис. 4. Гістограми закріплення дисперсних частинок на нерудних зернах вихідної руди (1,2,3,4,5) і продуктах магнітного збагачення (1¹,2¹,3¹,4¹,5¹) при крупності подрібнення руди 70% класу -0,074 мм, 1,1¹ - 4 з.г.; 2,2¹ - 5 з.г.; 3,3¹ - 6 з.г. Скелеватського родовища; 4,4¹ - 4 з.г.; 5,5¹ - 6 з.г. Валявкінського родовища

Знешламлення подрібненої руди перед збагаченням, як показали технологічні дослідження, значно (до 5-8%) підвищує якість магнітного продукту і знижує втрати загального заліза в немагнітному продукті. Наслідком процесу знешламлення подрібненої руди стало підвищення магнітної сприйнятливості для рудних зерен і зниження її для нерудних зерен.

Як показали дослідження, при одній крупності подрібнення та ступені розкриття рудних і нерудних зерен показники магнітного розділення значно вище. Найбільший ефект операції дешламачії подрібненої руди спостерігається при тонкому подрібненні.

Застосування рекомендованого способу дозволяє зменшити засміченість продуктів збагачення і підвищити ефективність всього комплексу збагачувального переділу з 44,8 до 47,9% (табл. 1).

Таблиця 1

Варіант збагачення	Масова частка заліза у вихідній руді %	Показники збагачення, %						Ефективність збагачення, %
		концентрат			хвости			
		вихід	масова частка заліза	вилучення	вихід	масова частка заліза	вилучення	
Без знешламлення	36,0	41,3	61,0	70,0	58,7	18,4	30,0	44,8
Зі знешламленням	36,0	39,2	64,1	70,0	60,7	17,8	30,0	47,9

За результатами досліджень збагачення окислених залізистих кварцитів Кривбасу рекомендована технологічна схема магнітної сепарації з попередніми знешламленням (рис.5).

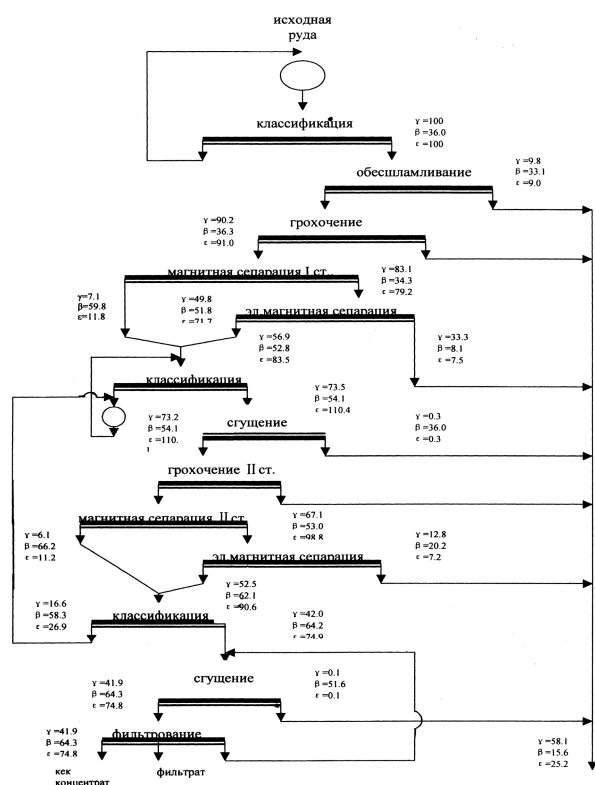


Рис. 5. Рекомендована схема переробки окислених залізистих кварцитів Кривбасу

Дана технологічна схема забезпечить отримання залізородного концентрату з масовою часткою заліза понад 64%.

Рекомендована схема забезпечить вирішення питання збуту залізородного концентрату і окатишів на внутрішньому і зовнішньому ринках.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Виконані дослідження дозволили визначити процес зниження контрастності рудних і нерудних мінеральних зерен в процесі подрібнення окислених залізистих кварцитів за рахунок покриття поверхневого шару дисперсними частками відповідно нерудних і рудних мінералів. Отримані результати дозволили розробити нові технічні рішення переробки залізородної сировини з одержанням концентрату з масовою часткою заліза понад 64% привисокій ефективності збагачувального переділу.

Список літератури

1. Булах О.В. Використання бішофіту при подрібненні окислених залізистих кварцитів Скелеватського та Ваявкінського родовищ для зниження шламоутворення / О.В. Булах, О.О. Булах // Збагачення корисних копалин. – Вип. № 57(98) – Дніпропетровськ: НГУ, 2014. – С. 80 – 82.
2. Гірничий енциклопедичний словник / Під ред. В.С. Білецького. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2004. – Т. 3. – 752 с.
3. Булах А.В. Возможный способ эффективного обогащения смешанных руд / А.В. Булах, О.А. Булах, М.В. Швец // Збагачення корисних копалин. – Дніпропетровськ: НГУ. – 2013. – Вип. 54(95). – С. 15 – 21.
4. Олейник Т.А. Современные тенденции развития технологий обогащения гематитовых руд в Украине / Т.А. Олейник // Збагачення корисних копалин. Науково – технічний збірник №56(97). – Дніпропетровськ: НГУ. – 2014. – С. 18–27.

5. Авдохин В.М. Современное состояние и основные направления развития процессов глубокого обогащения железных руд / В.М.Авдохин, С.Л.Губин // Горный журнал. – 2007. - № 2. – С. 58 – 64.

6. Остапенко П.Е. Обогащение железных руд / М.: Недра, 1977. – 274 с.

7. Пирогов Б.И. Геолого-минералогические факторы, определяющие обогатимость железистых кварцитов. М.: Недра, 1969. – 210 с.

8. Кармазин В.И., Мостепан Л.Ф., Левченко К.А. О повышении эффективности высокоградиентного обогащения илистых фракций окисленных железистых кварцитов ЦГОКа при использовании сетчатой матрицы с вертикальным намагничиванием // Современное состояние и перспективы развития техники и технологии магнитного обогащения руд и материалов – Кривой Рог, 1994. – С. 29-30.

9. Гвоздик В.С. Экспериментальное наблюдение при механическом воздействии на гематит и кварц / В.С. Гвоздик // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ, 2002. – С. 86-89.

10. Малый В.М. Разработка технологии обогащения окисленных железных руд / В.М. Малый, Т.Б. Ганзенко, Е.А. Титлянов // Обогащение слабомагнитных руд черных металлов. – М.: Недра, 1984. – С. 12-16.

Рукопис подано до редакції 04.04.2019

УДК 622.341.1:620.17

С.Г. САВЕЛЬЕВ, д-р техн. наук, доц., М.Н. КОНДРАТЕНКО, ассистент
Криворожский национальный университет

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ АГЛОМЕРАТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЕГО ПРОЧНОСТИ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ БАРАБАНЕ

Показано большое значение механической прочности агломерата для улучшения технико-экономических показателей доменной плавки. Наиболее распространенными показателями механической прочности является результаты барабанного испытания агломерата, которые в значительной степени обусловлены характером движения материала в ходе испытания. Понимание характера движения отдельных частиц агломерата в ходе барабанного испытания позволяет подойти к прогнозной оценке ударных и истирающих усилий, оказываемых на пробу.

Целью работы является анализ характера движения частиц пробы агломерата в процессе ее обработки во вращающемся барабане по стандартной методике.

Методы научного исследования. В работе использованы общелогические методы научного исследования – анализ и синтез, аналогия, обобщение.

Научная новизна работы состоит в развитии на основе теоретических расчетов и анализа полученных результатов представлений о характере движения частиц пробы агломерата в процессе ее обработки во вращающемся барабане по стандартной методике. Показано, что характерные особенности барабанного испытания – низкая степень заполнения барабана (на уровне 1,9÷2,2 %), неоднородность гранулометрического состава пробы и его изменчивость в процессе испытания, наличие на внутренней поверхности барабана двух симметрично расположенных полочек, высота которых больше максимального размера куска агломерата – обуславливают неодинаковый характер движения отдельных частей.

Практическая значимость работы заключается в получении исходных данных для дальнейшего исследования процесса обработки материала во вращающемся барабане с целью количественного определения частей пробы, отличающихся характером движения, а также оценки ударных и истирающих нагрузок, испытываемых различными частями пробы в ходе барабанного испытания по стандартной методике.

Результаты работы свидетельствуют о том, что те части пробы, которые не удерживаются полочками, движутся в режиме переката или каскадном. А те части пробы, которые удерживаются полочками, в зависимости от крупности, будут либо центрифугировать, либо падать вертикально вниз, достигнув верхней точки окружности барабана.

Ключевые слова: агломерат, проба, барабанное испытание, частица, характер движения.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-107-113

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Офлюсованный железорудный агломерат в настоящее время является основным сырьем доменных печей. Так, в условиях Украины его доля в рудной части доменной шихты составляет около 70 %. Важнейшей характеристикой качества агломерата является его холодная прочность [1, 2]. При этом считается [3, с. 183, 184], что повышение холодной прочности агломерата представляет собой значительный резерв повышения технико-экономических показателей работы доменных печей.

Наиболее распространенным методом определения холодной прочности окускованного железорудного сырья является испытание во вращающемся барабане. Для оценки прочности в середине 80-х годов прошлого века было известно девять методик [4, с. 100], отличающихся

характеристикой барабана, массой пробы, а также фракциями крупности, по которым оценивается прочность. В настоящее время на Украине действует национальный нормативный документ, гармонизированный методом перевода с международных и европейских нормативных документов, ДСТУ ISO 3271:2017 (ISO 3271:2015 IDS) «Руды железные для доменной печи и для сырья прямого восстановления. Метод определения коэффициентов прочности и истирания», введенный в действие с 1 июля 2018 года Приказом № 232 от 15.08.2017 по ГП «УкрНИОЦ», который регламентирует методику барабанного испытания агломерата.

Характер движения частиц агломерата во вращающемся барабане, оснащенном внутренними устройствами, в процессе определения прочности и истираемости представляет собой частный случай движения кускового сыпучего материала, имеющего максимальный условный диаметр более 10 мм [5, с. 4], закономерности которого изучены недостаточно. Это осложняет теоретическую оценку динамических нагрузок, испытываемых пробой агломерата, и, следовательно, степень разрушения материала в ходе барабанного испытания.

В этой связи является актуальным анализ характера движения частиц агломерата при определении его прочности во вращающемся барабане, позволяющем дать прогнозную оценку коэффициентов прочности и истираемости.

Анализ исследований и публикаций. Характер движения материала во вращающемся барабане зависит от степени его заполнения, скорости вращения и состояния внутренней поверхности. Установлено, что при обработке железорудной шихты в процессе производства окускованного продукта возможны четыре режима движения материала: челночный, переката, водопадный и циклический [6, с. 36], последовательный переход которых от одного к другому обусловлен увеличением степени заполнения барабана и повышением скорости его вращения.

Водопадный режим имеет три участка траектории движущихся частичек сыпучего материала – круговой, параболический и наклонного ссыпания по поверхности остального материала. Водопадный режим может возникнуть только в случае перехода материала во второй квадрант барабана. Кроме скорости вращения барабана, оказывающей решающее влияние, переход материала во второй квадрант будет зависеть и от степени заполнения барабана. При малой степени заполнения (около 5 %) водопадный режим, как правило, не возникает [7, с. 227].

В зависимости от скорости вращения и коэффициента заполнения барабана при работе барабанной мельницы различают следующие режимы: каскадный, водопадный, смешанный, со сверхкритической скоростью [8, с. 128]. При каскадном режиме (без подбрасывания измельчающей среды) вся рудная нагрузка совершает движение в сторону вращения мельницы и скатывается параллельными слоями (каскадом) вниз. При водопадном режиме рудная нагрузка поднимается на большую высоту и падает водопадом по параболическим траекториям. Характерными точками водопадного режима движения являются следующие: точка перехода с круговой траектории на параболическую; точка, соответствующая вершине параболы; точка падения шара на его круговую траекторию, которые можно рассчитать по известным уравнениям [9, с. 190-192].

Смешанный режим характеризуется перекачиванием и частичным подбрасыванием рудной нагрузки. Режим со сверхкритической скоростью наступает при скорости вращения барабана равной или превосходящей критическую. Наружный слой рудной нагрузки начинает центрифугировать, а внутренние слои сохраняют водопадный режим [8, с. 129].

Характер движения частиц сыпучего материала в поперечном сечении барабана с внутренним устройством в виде лопастной Г-образной насадки можно разделить на четыре стадии [10, с. 26]: 1) движение в завале; 2) движение вместе с лопастью; 3) движение по лопасти; 4) свободное падение с лопасти. При этом в зависимости от степени заполнения барабана сыпучим материалом, формы и размера лопастей возможны два предельных случая: 1) лопасть полностью перекрывается материалом, находящимся в завале; 2) ссыпаящийся край лопасти находится выше линии завала [10, с. 27]. В первом случае, т. е. при большом заполнении барабана материалом, движение материала в завале можно рассматривать, не учитывая влияния лопастей. Во втором случае можно вообще не рассматривать завал и ограничиться только рассмотрением трех остальных стадий движения.

Приведенный анализ исследований и публикаций показывает, что, несмотря на большое число работ, посвященных различным условиям движения сыпучих материалов во вращающемся барабане, отсутствуют исследования характера движения материала в барабане, имеющем

низкую степень заполнения и оснащенным внутренним устройством в виде равносторонних уголков. Именно эти особенности присущи методике определения прочности агломерата по нормативному документу ДСТУ ISO 3271 2017.

Постановка задачи. Задача настоящей работы заключается в анализе характера движения частиц агломерата при определении его прочности во вращающемся барабане по стандартной методике.

Изложение материала и результаты. Исследуем характер движения материала при барабанном испытании агломерата. Учтем, что некоторая часть испытуемого материала захватывается двумя полочками (уголками, приваренными на одинаковом расстоянии друг от друга вдоль оси барабана), а другая часть – прижимается к гладкой внутренней поверхности барабана между полочками.

Для определения критической частоты вращения барабана изобразим схемы с силами, действующими на кусочки агломерата: прижатые к поверхности барабана – на рис. 1а, захваченные полочками – на рис. 1б.

На частицу, не захваченную полкой и прижимаемую к внутренней поверхности барабана, действует вес $G = mg$, который раскладывается на радиальную G_R и тангенциальную G_T составляющие. Сила трения уравнивается тангенциальной составляющей веса. Согласно рис. 1а при некоторой скорости движения частицы по круговой траектории в точке А радиальная сила G_R может стать равной центробежной силе C

$$G_R = C. \quad (1)$$

Момент отрыва частицы от поверхности барабана определяется равенством центробежной силы $C = mv^2/R_i$ и радиальной составляющей веса $G_R = mg \cos \alpha$, где m и v – соответственно масса и окружная скорость частицы испытуемого материала, R_i – расстояние от центра масс частицы до центра вращения; g – ускорение свободного падения. От точки А эта частица под действием силы тяжести начнет двигаться как тело, брошенное со скоростью v под некоторым углом α к горизонту, т.е. по параболической траектории. Угол отрыва частицы от круговой траектории будет равен α и в точке А будет справедливо соотношение

$$mg \cos \alpha = mv^2/R_i. \quad (2)$$

Расстояние R_i зависит от размера частицы и может быть записано выражением

$$R_i = D/2 - a_i/2, \quad (3)$$

где $D = 1$ м – диаметр барабана; a_i – размер частицы испытуемого материала; $a_i = 5 \div 40$ мм.

Из выражения (2) получаем

$$v^2 = R_i g \cos \alpha. \quad (4)$$

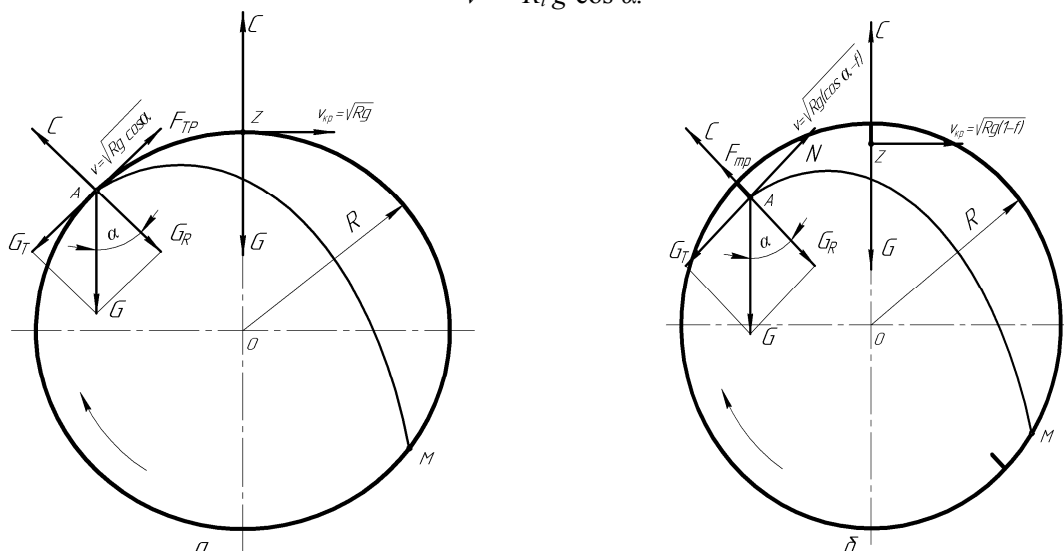


Рис. 1. Силы, действующие на частицы испытуемого материала во вращающемся барабане

Линейная скорость частицы, вращающейся с постоянной частотой вращения n , об./мин. по окружности с радиусом R_i :

$$v = \pi R_i n / 30. \quad (5)$$

Подставив равенство (5) в уравнение (4), получим выражение частоты вращения барабана, при которой частица материала, не захваченная полочками, перейдет с круговой траектории на параболическую при угле отрыва α

$$n = 30/\pi \sqrt{g \cos \alpha / R_i} . \quad (6)$$

При $\alpha_l = 0^\circ$, когда частица поднимется по круговой траектории до наивысшей точки Z (рис. 1а) центробежная сила должна быть максимальной, уравнивающей вес частицы G . При постоянных массе, размере частицы, радиусе движения увеличение центробежной силы может быть вызвано только увеличением линейной скорости её движения, в свою очередь прямо пропорциональной частоте вращения частицы. Из формулы (6) при $\cos 0^\circ = 1$ критическая частота вращения барабана, об./мин., при которой частицы, расположенные на внутренней поверхности барабана, начали бы центрифугировать, определяется по формуле

$$n_{кр} = 30/\pi \sqrt{g / R_i} . \quad (7)$$

Значение критической частоты вращения барабана в зависимости от величины кусков агломерата a_i , расстояния R_i дано в табл. 1.

Таблица 1

Критическая частота вращения барабана $n_{кр}$, об./мин., для материала, не захваченного полочками

a_i , мм							
5	10	15	20	25	30	35	40
R_i , м							
0,49625	0,49375	0,49125	0,48875	0,48625	0,48375	0,48125	0,48
$n_{кр}$, об./мин.							
42,404246	42,51119	42,61895	42,7275357	42,83695	42,94722	43,05833	43,17032

На частицу агломерата, захваченную полочкой, также действует вес $G = mg$, который раскладывается на радиальную G_R и тангенциальную G_T составляющие (рис. 1б). Но сила трения, всегда направленная вдоль поверхности в сторону, противоположную движению, в данной ситуации действует вдоль полочки, перпендикулярно поверхности барабана. Она совпадает по направлению с центробежной силой C . При этом (1) запишется в виде

$$G_R = C + F_{тр}.$$

Сила трения равна $F_{тр} = m g f$, где $f = 0,9$ – коэффициент трения покоя агломерата [11, с. 12]. Уравнение (2) приобретет вид $mg \cos \alpha = mv^2 / R_i + mgf$, а формула (4) переписывается в виде

$$v^2 = R_i g (\cos \alpha - f). \quad (8)$$

Подставив уравнение (5) в (8) получим выражение частоты вращения барабана, при которой частица материала перейдет с полочки на параболическую траекторию при угле отрыва α :

$$n_i = 30/\pi \sqrt{g(\cos \alpha - f) / R_i^l} . \quad (9)$$

Так как часть материала, захватываемого полочками, будет располагаться ближе к центру барабана, формула (3) будет выглядеть следующим образом:

$$R_i^l = D/2 - l - a_i/2 ,$$

где $l = 0,05$ м – ширина полочки.

Также, как и в первом случае, когда частица поднимется по круговой траектории до наивысшей точки Z (рис. 1б), а угол $\alpha_l = 0^\circ$, центробежная сила должна быть максимальной, уравнивающей вместе с силой трения $F_{тр}$ вес частицы G . При постоянных массе, размере частицы, радиусе движения и коэффициенте трения увеличение центробежной силы может быть вызвано только увеличением линейной скорости её движения, в свою очередь прямо пропорциональной частоте вращения частицы. Из формулы (5) при $\cos 0^\circ = 1$ критическая частота вращения барабана, об./мин., при которой частицы, расположенные на внутренней поверхности полочки, начали бы центрифугировать, определяется по формуле

$$n_{кр} = 30/\pi \sqrt{g(1 - f) / R_i} , \quad (10)$$

Значение критической частоты вращения барабана с учетом приваренных полочек в зависимости от величины кусков агломерата a_i и расстояния R_i^l дано в табл. 2.

Таблица 2

Критическая частота вращения барабана $n_{кр}$, об./мин., для материала, захваченного полочками

a_i , мм							
5	10	15	20	25	30	35	40
R_i , м							
0,49625	0,49375	0,49125	0,48875	0,48625	0,48375	0,48125	0,48
$n_{кр}$, об./мин.							
14,138696	14,17836	14,21835	14,2586874	14,29937	14,3404	14,38179	14,42353

Критическая частота увеличивается с увеличением размера кусков испытуемого материала в обоих случаях, но её значения для случая рис. 1а и рис. 1б отличаются в 3 раза.

Определим долю критической частоты вращения $\psi = n/n_{кр}$.

В таблице 3, 4 представлены значения доли действительной частоты вращения барабана $n = 25$ об./мин. от критических частот согласно табл. 1, 2.

Таблица 3

Доли действительной частоты вращения барабана ψ , доли ед., от критической частоты вращения для материала, не захваченного полочками

a_i , мм							
5	10	15	20	25	30	35	40
ψ , дол. ед.							
0,5896	0,5881	0,5866	0,5851	0,5836	0,5821	0,5806	0,5791

Таблица 4

Доли действительной частоты вращения барабана ψ , доли ед., от критической частоты вращения для материала, захваченного полочками

a_i , мм							
5	10	15	20	25	30	35	40
ψ , дол. ед.							
1,768197	1,763251	1,758291	1,75331707	1,748329	1,743327	1,73831	1,733279

Из табл. 3 и 4 следует, что для материала, не захваченного полочками, действительная частота вращения барабана почти в 2 раза меньше критической. В соответствии с этим режим вращения этой части пробы, скорее всего, будет каскадным или режимом переката. Из-за наличия силы трения материал, захваченный полочками, имеет в 1,7 раз большую критическую действительную частоту вращения. Скорее всего, он либо будет центрифугировать, либо падать вертикально вниз после прохождения самой верхней точки круговой траектории.

В подтверждение сделанных выводов определим угол отрыва частиц материала от стенок барабана (т. А на рис. 1) при частоте вращения $n = 25$ об./мин. Для этого из выражений (5) и (9) найдем угол α .

Для материала, не захваченного полочками из (5) следует

$$\cos \alpha = n^2 \pi^2 R_i / (30^2 g), \quad (11)$$

$$\alpha = \arccos \left[n^2 \pi^2 R_i / (30^2 g) \right]. \quad (12)$$

Значение угла отрыва α частиц материала от стенок барабана (без учета приваренных полочек) в зависимости от коэффициента трения и размера частиц представлены в табл. 5.

Таблица 5

Значение угла отрыва α , град., частиц материала, не захваченного полочками, при существующей частоте вращения $n = 25$ об./мин.

a_i , мм							
5	10	15	20	25	30	35	40
R_i , м							
0,49625	0,49375	0,49125	0,48875	0,48625	0,48375	0,48125	0,48
α , град.							
69,66031	69,76701	69,87363	69,98018	70,08665	70,19306	70,29939	70,40565

Для материала, захваченного полочками

$$\cos \alpha = n^2 \pi^2 R_i / (30^2 g) + f, \quad (13)$$

$$\alpha = \arccos \left[n^2 \pi^2 R_i / (30^2 g) + f \right]. \quad (14)$$

В связи с тем, что $\cos \alpha$ не может быть больше единицы, из формулы (13) вытекает ограничение максимального значения коэффициента трения

$$f \leq 1 - n^2 \pi^2 R_i / (30^2 g). \quad (15)$$

Для любого размера частиц агломерата, отобранного для барабанной пробы ($a_i = 5 \div 40$ мм), неравенство (15) не выполняется из-за большого коэффициента трения ($\cos \alpha = 1,85$ по (13)). Однако, согласно схеме на рис. 1б, в крайней верхней точке Z барабана направление веса G совпадает с центробежной силой C – обе силы вертикальны. При этом исчезает тангенциальная составляющая веса G_T , вместе с которой исчезает и сила трения. Следовательно, без коэффициента трения f уравнение (13) превращается в (11), а (14) – в (12). Частицы же агломерата должны подниматься полочкой в крайнее верхнее положение, а оттуда – либо падать вниз по вертикальной траектории, либо продолжать вращение вместе с барабаном. Это подтверждает вывод о центрифугировании либо циклическом режиме вращения частиц, захваченных полочками, сделанный после таблицы 4.

Определим коэффициент загрузки при барабанном испытании.

Объем барабана равен

$$V_b = (\pi D^2 / 4) L = (\pi \cdot 1^2 / 4) 0,5 = 0,3927 \text{ м}^3.$$

Насыпная масса агломерата [11, с. 12] $\rho = 1,7 \div 2,0$ т/м³. Тогда объем испытуемого материала массой 15 кг составит

$$V_a = m / \rho = 15 \cdot 10^3 / (1,7 \div 2,0) = 0,008824 \div 0,0075 \text{ м}^3.$$

Определим коэффициент загрузки при барабанном испытании

$$\varphi = V_a / V_b = [(0,008824 \div 0,0075) / 0,3927] \cdot 100\% = 2,247 \div 1,91\%.$$

Согласно [7, с. 227] степень заполнения барабана 5 % уже считается малой. При ней, как правило, не возникает водопадный режим. В барабанной же пробе эта величина более чем в 2 раза меньше. Это еще раз подтверждает, что материал, не захваченный полочками, движется в барабане в режиме переката или каскадном. Материал же захваченный полочками либо центрифугирует, либо движется в циклическом режиме, падает вниз после прохождения верхней точки круговой траектории.

Выводы и направление дальнейших исследований. Характер движения частиц агломерата при его испытании во вращающемся барабане по стандартной методике обусловлен сравнительно низкой степенью заполнения барабана – $1,9 \div 2,2$ %, неоднородным и изменяющимся в процессе испытания гранулометрическим составом материала, наличием на внутренней поверхности барабана двух симметрично расположенных полочек, высота которых больше максимального размера куска агломерата. Вследствие этих особенностей методики барабанного испытания, характер движения отдельных частей пробы не одинаков. Части пробы, не удерживаемые полочками, движутся в режиме переката или каскадном. Части пробы, которые удерживаются полочками, в зависимости от крупности, будут либо центрифугировать, либо падать вертикально вниз, достигнув верхней точки окружности барабана.

Дальнейшее направление исследований может быть связано с задачей количественного определения частей пробы, отличающихся характером движения, а также оценкой ударных и истирающих нагрузок, испытуемых различными частями пробы.

Список литературы

1. Губин Г.В. Оценка показателей качества железорудного сырья и их влияния на работу доменной печи / Г.В. Губин, С.Г. Савельев, В.О. Равинская // Качество минерального сырья. Сб. научн. трудов. Т. 1. Кривой Рог: ФЛП Чернявский Д.А., 2017. – С. 83-91.
2. Паталах А.А. Металлургические свойства сырья. Современные методы испытаний / А.А. Паталах // Новое в технологии и технике переработки минерального сырья. Сб. научн. трудов. Кривой Рог: ОАО «МеханоБрчермет», 2008. – С. 174-184.
3. Metallurgiya chuguna. / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев и др. // М: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 774 с.
4. Производство агломерата и окатышей / С.В. Базилевич, А.Г. Астахов, Г.М. Майзель и др. // М.: Metallurgiya, 1984. – 216 с.
5. Шубин И.Н. Технологические машины и оборудование. Сыпучие материалы и их свойства / И.Н. Шубин, М.М. Свиридов, В.П. Таров // Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 76 с.
6. Бережной Н.Н. Производство железорудных окатышей / Н.Н. Бережной, В.В. Булычев, А.И. Костин // М.: Недра, 1977. – 240 с.
7. Коротич В.И. Агломерация рудных материалов / В.И. Коротич, Ю.А. Фролов, Г.Н. Бездежский // Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003. – 400 с.
8. Кармазин В.И. Бесшаровое измельчение руд / В.И. Кармазин, А.И. Денисенко, Е.Е. Серго // М.: Недра, 1968. – 184 с.
9. Петров В.А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / В.А. Петров, Е.Е. Андреев, Л.Ф. Биленко // М: Недра, 1990. – 301 с.
10. Першин В.Ф. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа / В.Ф. Першин, В.Г. Однолюбо, С.В. Першина // М.: Машиностроение, 2009. – 220 с.
11. Маликов О.Б. Склады промышленных предприятий / О.Б. Маликов, А.Р. Малкович // Л.: Машиностроение. 1989. – 672 с.

Рукопись поступила в редакцию 08.04.2019

С. О. РОМАНОВ, аспірант, О.І. САВИЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

МОНІТОРИНГ, ДІАГНОСТИКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВИХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ ГЕЛІОСТАНЦІЇ ЗА УМОВИ РОБОТИ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ

Мета. Метою даної роботи є аналіз та обґрунтування вибору системи моніторингу, діагностики та прогнозування стану систем сонячних панелей та рівня генерації електричної енергії з використанням інтелектуальних методів для розрахунку електричних параметрів фотоелектричної системи. Складність та масштабність системи, функціонування системи в умовах невизначеності, а також динамічність її процесів зумовлює використання нестандартного підходу для отримання та використання інформації про стан геліостанції у режимі реального часу.

Методи дослідження. Для вирішення поставленої задачі у роботі використовуються методи теорії систем автоматичного керування, методи оптимізації систем діагностики автоматичного керування, методи нечіткої логіки, методи інтелектуального збору та аналізу даних.

Наукова новизна. У роботі покращена ефективність моніторингу, діагностики та прогнозування стану сонячних систем за рахунок скорочення помилок системи прогнозування на основі інтелектуальних методів для підвищення точності розрахунку електричних параметрів системи з урахуванням зовнішнього середовища. Дана стаття розглядає можливість використання традиційного методу розрахунку електричних параметрів геліостанції у поєднанні з інтелектуальними системами керування, на основі адаптивних нейро-нечітких мереж або з використанням штучного інтелекту.

Практична значимість. На основі проведеного аналізу існуючих методів моніторингу та діагностики вирішено питання покращення ефективності моніторингу, швидкості діагностики та підвищення точності прогнозування стану фотоелектричних панелей за допомогою інтелектуальних систем.

Результати. Обґрунтовано алгоритм системи моніторингу, діагностики та прогнозування стану сонячних панелей та рівня генерації електричної енергії. Даний алгоритм дозволяє розраховувати електричні параметри системи, враховуючи основні параметри навколишнього середовища та мережі, у якій функціонує геліостанція. Напрямоком подальших досліджень є розробка системи прогнозування на основі комбінації обраного алгоритму з інтелектуальними системами збору та аналізу даних, її імітаційного моделювання та оцінки якості її функціонування.

Ключові слова: автоматизація, інтелектуальні системи, моніторинг, діагностика, прогнозування стану, сонячні панелі, геліостанція, електроенергія.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-113-118

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. На ринку фотоелектричної енергії останніми роками спостерігається значне зростання в результаті різних стимулюючих факторів: суттєвого зниження вартості PV-модулів (photovoltaic, фотоелектричні) та змін у політиці підтримки відновлюваної енергії [1]. Ці фактори вплинули на збільшення інвестицій у сонячні електростанції. Однак, як і в інших промислових процесах, у фотоелектричних системах, під час їх роботи, виникають поломки ділянок або панелей повністю, що призводить до зниження загальної продуктивності системи або навіть до виходу з ладу. Ці негативні наслідки, очевидно, зменшують продуктивність PV-системи, а отже, і її прибуток. Таким чином, належне раннє виявлення несправностей та діагностика в режимі реального часу мають вирішальне значення не тільки для зниження вартості та часу обслуговування, але також для уникнення втрат енергії, пошкодження обладнання та небезпеки для використання. Також, під час роботи PV-системи на електромережу, вихід її із ладу призводить до невиконання контракту і в умовах ринку електроенергії - отримання штрафних санкцій.

Аналіз досліджень та публікацій. Велика кількість дослідницьких робіт та доповідей присвячені розгляду питання ефективності PV-систем. Але, у зв'язку з виникненням несправностей фотоелектричних модулів, їх продуктивність зменшується до критично низьких значень [2-9]. Загалом, несправності PV-масивів класифікуються як тріщини в секціях, відшарування, гарячі точки, накопичення бруду, несумісність модулів, коротке замикання модулів, розриви з'єднувальних елементів, викликані пошкодженнями з'єднаннями, корозією з'єднання, відкритою схемою, коротким замиканням, а також несправності обладнання MPPT (maximum power point tracking, відслідковування максимальної потужності) [10].

Є декілька підходів до виявлення втрат потужності PV-системи. Основний підхід використовує аналітичну надмірність, яка полягає у порівнянні миттєвих вимірних електричних величин (вихідна потужність, напруга та струм) з номінальними величинами еталонної моделі. При

досягненні певних критичних відмінностей між цими значеннями (низька вихідна потужність, висока сила струму), спрацьовує оповіщення про несправності в системі [11-14]. Орієнтовна модель PV-модуля ґрунтується на моделі одного діода, параметри якого визначаються специфікацією виробника [15]. Це спрощує розуміння самої суті несправності, що зводиться до виходу з ладу діода у фотоелектричній панелі. Інший підхід виявлення помилок та діагностики стану системи ґрунтується на надмірності апаратного забезпечення, в якому декілька подібних підсистем здійснюють одне і те ж завдання. Зібравши та аналізуючи дані кожної підсистеми, можна виявити аномалії у роботі фотоелектричного масиву.

Однак ці методи є ефективними лише для виявлення та діагностики згрупованого набору помилок, але не для індивідуального розташування кожного дефекту [16]. Вони не можуть точно та достовірно визначити конкретний несправний елемент, а лише вказати на наявність несправності у загальній системі або підсистемі. Крім того, вимірювання сонячного випромінювання та температури є основними вимогами для цього підходу, що вимагає додаткового обладнання для вимірювання та аналізу цих даних [13].

Оскільки моніторинг електричних параметрів, як правило, охоплює велику кількість даних, є доцільним застосувати штучний інтелект та інтелектуальний аналіз даних. Подібні моделі використовуються для прогнозування кількості згенерованої енергії, що важливо для цілей моніторингу та управління мережею.

Методики, засновані на штучному інтелекті, не вимагають ніякої надлишкової інформації про систему і включають в себе ряд різних підходів: штучні нейронні мережі, нечітка логіка, еволюційні або генетичні алгоритми, експертні системи та ін. [17, 18]. Їх можна класифікувати наступним чином:

1. Перший тип моделі на основі ANN (artificial neural networks, штучні нейронні мережі) оцінює потужність, що генерується фотоелектричною установкою, починаючи з миттєвих умов роботи сонячного випромінювання та температури. Умови роботи можуть виникати як від датчиків, встановлених на безпосередньо на геліостанції, так і від моделей на основі статистичного аналізу NWP (numerical weather prediction, чисельний прогноз погоди).

2. Інші моделі, засновані на ANN, приймають за вхідні значення поточні та минулі значення вихідної потужності, використовуючи як базу статистичні методи оцінки експериментальних даних. Ці моделі безпосередньо прогнозують вихід енергії без додаткових метеорологічних параметрів, проте вимагають підтримки баз даних, що будуть накопичувати електричні параметри роботи системи протягом певного часу, від декількох місяців до декількох років.

3. Третій тип моделей на основі ANN – поєднання перших двох типів.

Постановка задачі. Ключовою задачею є вибір методів та алгоритмів моніторингу та діагностики станів PV-систем. У даній статті розглядаються методи, що базуються на показниках електричних параметрів, безпосередньо отриманих від масиву сонячних панелей. На жаль, велика кількість непередбачуваних умов, які впливають на продуктивність сонячних панелей, становить серйозну проблему для прогнозування рівня генерації електроенергії.

Виклад матеріалу та результати. Першим кроком на шляху до відповідної системи моніторингу є визначення того, що слід вимірювати, як це можна виміряти, і як вимірювання можна використовувати. Питання про те, що слід виміряти, вказує на першу можливість серед відомих підходів моніторингу та діагностики залежно від того, як PV-підсистеми поділяються на групи. Дійсно, загальна продуктивність PV-системи залежить від ефективності кожної підсистеми, де окрема підсистема є єдиним сонячним елементом, що утворює сонячну панель. Більш поширені вимірвальні системи підвищують точність діагностики за рахунок збільшення витрат. Тому груба класифікація електричних методів моніторингу та діагностики може базуватися на “рівні деталізації”. Найнижчий рівень відповідає моніторингу масиву сонячних панелей в цілому: вимірюється лише миттєва вихідна потужність, що генерується фотоелектричним полем на стороні постійного струму або стороні змінного струму, а потім перетворюється в вихід енергії цілої установки. У цьому випадку широко поширеним показником заслуг є коефіцієнт продуктивності PR , визначений відповідно до МЕК 61724, як співвідношення між виміряною миттєвою потужністю P_i , та номінальною потужністю масиву панелей P_{nom} , скоригована з урахуванням фактичного миттєвого рівня сонячного випромінювання G_i відносно випромінювання при нормальних умовах G_{stc} ($1 \text{ кВт} / \text{м}^2$)

$$PR = \frac{P_i}{P_{nom}} \frac{G_{STC}}{G_i} . \quad (1)$$

Основним недоліком прийняття (1) як показника, є те, що вихід потужності багато в чому залежить від робочої температури. Для того, щоб враховувати теплові ефекти, було запропоновано вдосконалену версію (2)

$$PR(T) = \frac{P_i}{P_{nom} + \beta \cdot \Delta T} \frac{G_{STC}}{G_i} , \quad (2)$$

де β - температурний коефіцієнт генерації енергії (завжди від'ємне значення) та ΔT - різниця миттєвої та номінальної температур ($T_{nom} = 25^\circ\text{C}$).

Зазвичай, якщо PR менше, ніж 1, сонячна система працює не на повну потужність. Проте використання P_{nom} в (1) та (2) не враховує чисельні фактори, що призводять до відхилення фактичної ефективності сонячного масиву від заявленої потужності, навіть якщо всі його компоненти працюють правильно. Для подолання цієї проблеми пропонується покращення як (1), так і (2) шляхом заміни номінальної потужності на відносну потужність, надану детальною моделлю сонячного поля. Модель працює з тими ж умовами навколишнього середовища, як реальна система, але з ідеальними сонячними батареями, таким чином визначаючи "відносну похибку" як показник відхилення.

Також, можливе застосування більш складного методу перевірки, що має наступний вираз для визначення коефіцієнта продуктивності PR

$$PR(T) = \frac{P_i}{P_{nom}(G_i/G_{STC})} = \frac{P_{nom}(G_i/G_{STC}) - L(x_n, y_m)}{P_{nom}(G_i/G_{STC})} , \quad (3)$$

де $L(x_n, y_m)$ – складна функція значення втрат, що включає в себе x_n різних ефектів, які були спричинені навколишнім середовищем (температура, часткове затінення, тощо) та несправностями електричних компонентів та комунікацій y_m . Вимірний коефіцієнт будують як функцію сонячного опромінення, та, згідно (3), всі відхилення від прямої лінії співвідносяться до певної форми несправності.

В загальному випадку, масив втрат потужності можна визначити як різницю між очікуваною номінальною потужністю, за умов поточного сонячного випромінювання, та реальною потужністю на виході системи

$$L_i = P_{nom} \frac{G_i}{G_{STC}} - U_{pvi} I_{pvi} , \quad (4)$$

де U_{pvi} та I_{pvi} – вимірні робочі значення напруги та сили струму сонячного поля відповідно.

Проте, значним недоліком методів, що базуються на моніторингу на рівні масиву даних, є те, що вони не підходять для визначення несправних компонентів. Це дуже важливо, оскільки витрати на експлуатацію та технічне обслуговування сильно залежать від здатності здійснювати цілеспрямовані заходи щодо забезпечення належного стану системи. Таким чином, кількість параметрів, що підлягають моніторингу, повинна збільшуватись. Наприклад, використання тих же показників якості, що відповідають лише одній лінії сонячних батарей, а не всьому полю електростанції. Порівняння цих показників між різними лініями дозволяє безпосередньо ідентифікувати лінію, що містить несправні елементи. Проте навіть таке визначення дефектів може бути не досить ефективним. Наприклад, коли виходи з ладу відбуваються відразу у декількох лініях, а неоднозначність визначається об'єднанням показників якості з оцінкою стандартного коефіцієнта продуктивності.

Визначення більш підходящого показника якості можливе також за рахунок використання вивідного інструменту, що повертає інформацію про роботу геліостанції. Після початкової підготовки, програмне забезпечення визначає одну або кілька ліній сонячних батарей, які в подальшому замінюють значення номінальної потужності для визначення очікуваного коефіцієнта продуктивності. Миттєва потужність, що генерується найефективнішим рядком у великому сонячному полі, вважається цільовою для всіх інших рядків з однаковою орієнтацією. Цей підхід має перевагу, що він абсолютно незалежний від погодних умов, випромінювання та температури і не вимагає довгострокової підготовки програмного забезпечення. Крім того, це дозво-

ляє швидко локалізувати несправні рядки і достовірно оцінити втрати енергії, що відносяться до кожного рядка.

Покращена можливість знаходження несправностей може бути досягнута шляхом переходу до моніторингу на індивідуальному рівні сонячних панелей. Очевидно, що в даному випадку необхідна поширена сенсорна мережа, так що вартість системи може бути виправдана більш високими прибутками від найбільш ефективних стратегій обслуговування. Основними питаннями, які необхідно вирішити, коли приймається система моніторингу за окремою панеллю, є енергозабезпечення датчиків, передача даних і управління даними, оскільки їх ефективність залежить від контрольованих параметрів. Найкращим рішенням є вимірювання $I-V$ кривої кожної сонячної панелі. Це рішення є відносно простим у впровадженні в розподілених системах перетворення, де кожна сонячна панель має власний DC/DC перетворювач, який можна належним чином контролювати для побудови або оцінки $I-V$ характеристики; інші вимірювання набагато складніші, тому що вони вимагають тимчасового відключення окремих сонячних панелей від лінії.

Більш поширене рішення полягає в вимірюванні робочої напруги і робочого струму сонячної панелі для розрахунку миттєвої згенерованої потужності. Такий підхід вимагає зменшеної кількості обладнання для обробки параметричних даних, в той час як це саме обладнання може вимагати енергопостачання в залежності від прийнятої системи зв'язку та частоти дискретизації вимірювань.

Загальною проблемою, з якою стикаються системи моніторингу, є велика кількість даних, які необхідно проаналізувати. Тому, доцільно використовувати підходи, що дозволяють аналізувати вхідні масиви даних дуже швидко та базуються на штучному інтелекті та інтелектуальному аналізу даних.

Оскільки характеристики геліостанцій є надзвичайно нелінійними, наявність недосконалої та несправностей у системі може призвести до некорельованих ефектів. Отже, необхідні більш витончені і досконалі алгоритми та методи виявлення і діагностики несправностей. Один активний напрямок досліджень полягає у використанні штучного інтелекту та інтелектуального аналізу даних, які в основному базуються на концепції бази даних знань. Ці методи можна розділити на три категорії: методи обробки сигналів, методи класифікації та методи висновків. Основна ідея методів обробки сигналів полягає в тому, щоб витягти деякі особливості вимірюваних сигналів, які можна віднести до певного стану роботи фотоелектричної системи. Найбільш часто використовуваними методами є методи вейвлет-перетворення і швидке перетворення Фур'є (ШПФ). Методи класифікації замість цього засновані на штучному інтелекті, де знання будуються з доступного набору даних. Оскільки кількість маркованих даних є досить великими, алгоритми навчання під наглядом можуть вивчати характеристики системи та робити прогноз після навчання. Так, інтелектуальні нейронні мережі (ІНС) можуть застосовуватись для геліостанцій, що працюють в умовах часткового затінення, для моніторингу та контролю робочого стану фотоелектричної системи і для виявлення несправностей PV-матриць.

Окремо від діагностики та визначення несправностей геліостанції необхідно звернути увагу на ще один дуже важливий фактор – прогнозування кількості виробленої енергії. Це ключовий момент, що виникає ще на етапі проектування станції, та який має вагомий вплив на майбутнє функціонування сонячної електростанції. В залежності від масивності станції, вона може працювати на локального автономного споживача, може бути під'єднаною до загальної електричної мережі країни або ж входити у склад основних або резервних джерел енергії для певного підприємства.

Зазвичай, прогнозування відбувається на основі вимірювання сонячного випромінювання, що припадає на одиницю площі геліостанції, або дані сонячного випромінювання, отримані від метеорологічних станцій, з метою розрахунку вихідних значень енергетичного виходу.

Залежно від необхідного завдання, методи прогнозування можуть мати різний часовий діапазон: дуже короткі (до однієї години) і короткі (до 6 годин) часові шкали належать до прогнозів впродовж однієї доби, тоді як довші прогнози мають часові шкали одного або більше днів. Що стосується просторового розширення, прогнозування може бути пов'язане з однією сонячною станцією або, для регіональних моделей, кластером станцій в межах певної території.

Оскільки на фотоелектричні системи сильно впливають погодні умови, такі як сонячне випромінювання та температура повітря, точні моделі потрібні для надійного прогнозування їх

виробництва. Моделі прогнозування потужності, що генерується фотоелектричною установкою, можна широко розділити на три категорії. Перший тип методів базується на чисельному прогнозі погоди (NWP) для прогнозування таких метеорологічних параметрів, як сонячне випромінювання та температура повітря. Ці параметри використовуються як вхідні дані моделі системи PV для прогнозування виробленої енергії. Інший підхід ґрунтується на статистичному моделюванні історичних даних про генеровану енергію. Цей підхід включає регресійні (наприклад, авторегресійні, AR; моделі авторегресійних ковзних середніх, ARMA; моделі авторегресійних інтегрованих ковзних середніх, ARIMA та ін.) та моделі штучного інтелекту (AI) (наприклад, штучні нейронні мережі, ANN; адаптивні системи нечіткого висновку, ANFIS і т.д.). Нарешті, третій спосіб прогнозування потужності, що генерується фотоелектричною системою, поєднує фізичне та статистичне моделювання, так званий гібридний метод. Гібридні методи зазвичай застосовуються, коли деякі дані, необхідні для фізичних або статистичних методів, відсутні, а також можуть бути використані для підвищення точності прогнозуальної діяльності. Три різних підходи мають різну часову здатність: більшість методів дають короткострокові прогнози, тоді як методи, засновані на NWP, краще підходять для довгострокових прогнозів до 15 днів. Проте вони мають стійку залежність від даних, що передаються від метеорологічних станцій, що створює додаткові проблеми зі зв'язком та способом передачі цих даних.

Висновки та напрям подальших досліджень. Після розгляду багатьох методів моніторингу та діагностики, зроблено висновок, що найбільш ефективним електричний метод, що базується на наведених у роботі формулах визначення коефіцієнту продуктивності. Вибір цього методу обґрунтований:

використанням лише наявного апаратного забезпечення, що виключає надмірність даних, необхідних для точної оцінки стану роботи системи;

гнучкості методу до впровадження систем інтелектуального збору та аналізу даних та інтелектуальних систем керування.

Напрямок подальшого дослідження буде використання методу кластеризації для визначення втрат потужності при роботі геліостанції, застосування адаптивної системи нечіткого висновку та їх вплив на загальну роботу системи.

Список літератури

1. S. E. Forman, "Performance of experimental terrestrial photovoltaic modules," IEEE Transactions on Reliability, vol. 31, no. 3, pp. 235–245, 1982.
2. C. Baltus, J. Eikelboom, and R. Van Zolingen, "Analytical monitoring of losses in pv systems," in Proceedings of the 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona, Spain, July 1997.
3. D. L. King, W. E. Boyson, and J. A. Kratochvil, "Analysis of factors influencing the annual energy production of photovoltaic systems," in Proceedings of the 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, New Orleans, La, USA, May 2002.
4. G. Petrone, G. Spagnuolo, R. Teodorescu, M. Veerachary, and M. Vitelli, "Reliability issues in photovoltaic power processing systems," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, no. 7, pp. 2569–2580, 2008.
5. A. Chouder and S. Silvestre, "Analysis model of mismatch power losses in pv systems," Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME, vol. 131, no. 2, Article ID 024504, 5 pages, 2009.
6. M. A. Quintana, D. L. King, T. J. McMahon, and C. R. Osterwald, "Commonly observed degradation in field-aged photovoltaic modules," in Proceedings of the 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp. 1436–1439, May 2002.
7. P. Guerriero, F. Di Napoli, V. D'Alessandro, and S. Daliento, "Accurate maximum power tracking in photovoltaic systems affected by partial shading," International Journal of Photoenergy, vol. 2015, Article ID 824832, 10 pages, 2015.
8. G. Cipriani, V. Di Dio, L. P. Di Noia et al., "A PV plant simulator for testing MPPT techniques," in Proceedings of the 4th International Conference on Clean Electrical Power: Renewable Energy Resources Impact (ICCEP '13), pp. 483–489, Alghero, Italy, June 2013.
9. G. Brando, A. Danner, and R. Rizzo, "A sensorless control of H-bridge multilevel converter for maximum power point tracking in grid connected photovoltaic systems," in Proceedings of the International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP '07), May 2007.
10. M. A. Munoz, M. C. Alonso-Garcia, N. Vela, and F. Chenlo, "Early degradation of silicon PV modules and guaranty conditions," Solar Energy, vol. 85, no. 9, pp. 2264–2274, 2011.
11. D. Stellbogen, "Use of PV circuit simulation for fault detection in PV array fields," in Proceedings of the 23rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp. 1302–1307, May 1993.
12. H. Haeblerlin and C. Beutler, "Normalized representation of energy and power for analysis of performance and on-line error detection in PV-systems," in Proceedings of the 13th EUPV Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Nice, France, 1995.

13. A. Drews, A. C. de Keizer, H. G. Beyer et al., "Monitoring and remote failure detection of grid-connected PV systems based on satellite observations," *Solar Energy*, vol. 81, no. 4, pp. 548–564, 2007.
14. S. Silvestre, M. A. D. Silva, A. Chouder, D. Guasch, and E. Karatepe, "New procedure for fault detection in grid connected PV systems based on the evaluation of current and voltage indicators," *Energy Conversion and Management*, vol. 86, pp. 241–249, 2014.
15. G. T. Klise and J. S. Stein, "Mode used to assess the performance of photovoltaic systems," Tech. Rep., Sandia National Laboratories, 2009.
16. A. Chouder and S. Silvestre, "Automatic supervision and fault detection of PV systems based on power losses analysis," *Energy Conversion and Management*, vol. 51, no. 10, pp. 1929–1937, 2010.
17. A. Mellit and S. Shaari, "Recurrent neural network-based forecasting of the daily electricity generation of a Photovoltaic power system," in *Proceedings of the Ecological Vehicle and Renewable Energy (EVER '09)*, pp. 26–29, Monte-Carlo, Monaco, March 2009.
18. A. Mellit and S. A. Kalogirou, "Artificial intelligence techniques for photovoltaic applications: a review," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 34, no. 5, pp. 574–632, 2008.

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 666.97

Л.М. КОВЕРНІЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., О.П. ХІЛЬЧЕНКО, ст. викл.
Криворізький національний університет

БЕТОНИ НА ШТУЧНОМУ ПОРИСТОМУ ЗАПОВНЮВАЧІ – АКТИПОРОРИТУ ІЗ ТЕХНОГЕННИХ ВІДХОДІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ КРИВОГО РОГУ

Мета. Метою дослідження є отримання штучного пористого заповнювача виготовленого із техногенної сировини гірничо-металургійних підприємств Кривого Рогу високої якості з порівняно низькою енергоємністю та бетонові на його основі.

Сучасний напрямок у виробництві будівельних конструкцій ґрунтується на застосуванні легких і полегшених бетонів, для виробництва яких необхідно використовувати легкі заповнювачі.

Сьогодні будівельні матеріали і вироби виготовляють, в основному, з природної сировини і рідше з побічних продуктів промисловості. Проте, щорічно здобич у великих кількостях сировини за наявності взаємозамінних техногенних відходів інших галузей промисловості погіршує екологічну обстановку. Техногенні відходи – це відходи виробництва, які шкідливо впливають на життєдіяльність людини та навколишнє середовище. Тому, що часто відходи підприємств викидають на звалище, оскільки не вважається потрібним їх використання в індустрії будівельних матеріалів.

Методи. Для вирішення цієї мети застосовувалися стандартні та спеціальні методи для визначення й дослідження властивостей компонентів та складу шихти, а також сировинних гранул заповнювача. Для обробки результатів експериментів використовували статистичний аналіз.

Наукова новизна. Проведенні наукові дослідження дали змогу розробити технологію виготовлення штучного пористого заповнювача – актипорориту на основі техногенних промислових відходів.

Практична значимість. У Криворізькому залізорудному басейні збагачення залізних руд гірничо-металургійними комбінатами супроводжується утворенням великої кількості відходів до 50% від їх початкової маси. Ці відходи погіршують екологічну ситуацію на Криворіжжі та їх можна розглядати як штучно створену сировинну базу для будівництва та виготовлення будівельних матеріалів.

Застосування техногенних відходів в технології виготовлення пористих заповнювачів розширює сировинну базу, зменшує матеріальні витрати та енергоресурси на виробництво і покращує екологічну обстановку.

Результати. Виконані дослідження дозволили розробити спосіб виробництва штучного пористого заповнювача для бетону – актипорориту із техногенної сировини гірничо-металургійних підприємств Кривого Рогу. Даний спосіб і використані компоненти шихти відрізняються від відомих і забезпечують отримання легкого заповнювача - актипорориту досить високої якості із економією енерговитрат.

Ключові слова: актипорорит, техногенні відходи, актипороритобетон, міцність актипороритобетону, щільність актипороритобетону.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-118-123

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сучасний напрямок у виробництві будівельних конструкцій ґрунтується на застосуванні легких і полегшених бетонів, для виробництва яких необхідно використовувати легкі заповнювачі [1].

Сьогодні будівельні матеріали і вироби виготовляють, в основному, з природної сировини і рідше з побічних продуктів промисловості [2]. Проте, щорічно здобич у великих кількостях

сировини за наявності взаємозамінних техногенних відходів інших галузей промисловості погіршує екологічну обстановку. Техногенні відходи – це відходи виробництва, які шкідливо впливають на життєдіяльність людини та навколишнє середовище. Тому, що часто відходи підприємств викидають на звалище, оскільки не вважається потрібним їх використання в індустрії будівельних матеріалів [3].

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Зменшення сировинної бази на фоні охорони надр та ресурсозбереження є однією із основних проблем індустрії будівельних матеріалів [4].

Зростання цін на всі види енергоносіїв приводить до зростання витрат на будівництво. Виникає потреба в зниженні енергозатрат. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є підвищення термічного опору конструкцій нових споруд, що може бути досягнуте, за рахунок використання при будівництві будівель і споруд економічного легкого бетону [5] з принципово новими властивостями і значно зниженою теплопровідністю на нових пористих заповнювачах, виробництво яких економічніше ніж існуючих.

У Криворізькому залізородному басейні поряд з видобутком багатой залізної руди великий розвиток отримало використання бідних руд шляхом їх збагачення і агломерації. Збагачення залізних руд гірничо-збагачувальними комбінатами (ГЗК) супроводжується утворенням великої кількості відходів до 50% від їх початкової маси. Щорічно складається в сховища велика кількість відходів збагачення. В цілому, з початку експлуатації ГЗК, в хвостосховищах Кривбасу накопичено близько 1,5 млрд.м³ відходів збагачення. Ці відходи погіршують екологічну ситуацію на Криворіжжі та їх можна розглядати як штучно створену сировинну базу для будівництва та виготовлення будівельних матеріалів [6].

Тому застосування техногенної сировини для виготовлення пористих заповнювачів є актуальною, так як розширює сировинну базу, зменшує матеріальні витрати та енергоресурси на виробництво і покращує екологічну обстановку.

Аналіз досліджень та публікацій. На сьогоднішній день промисловість будівельних матеріалів випускає цілий ряд штучних пористих заповнювачів. Це такі заповнювачі як: сланцепоритові та аглопоритові, щебінь, гравій, пісок; шлакова пемза; керамзит; перліт; глинозольний керамзит [7]; заповнювач на основі рідкого скла та відходів збагачувальних комбінатів.

В даний час існує значна кількість технологій виготовлення штучних пористих заповнювачів. А так же значна кількість рекомендованих складів шихти для їх виготовлення, в тому числі і з використанням відходів гірничо-збагачувальних комбінатів [8].

Аналіз відомих технологій отримання штучних пористих заповнювачів і складів шихти для їх приготування показав, що отримані в даний час по відомих технологіям і з відомих шихт легкі заповнювачі мають цілу низку недоліків. Зокрема, або одержувані заповнювачі не в повній мірі відповідають сучасним вимогам, або технологія їх отримання досить складна і малоефективна внаслідок високої енергоємності [9].

Постановка задачі. Метою дослідження є отримання штучного пористого заповнювача виготовленого на основі техногенної сировини гірничо-металургійних підприємств Кривого Рогу високої якості з порівняно низькою енергоємністю та бетонів на його основі.

Звідси випливають наступні завдання досліджень:

визначити вплив компонентів шихти для виготовлення штучного пористого заповнювача з техногенної сировини на його фізико-механічні властивості;

встановити взаємозв'язок між складом та властивостями компонентів шихти для виготовлення штучного пористого заповнювача та процесом термообробки.

Методи досліджень. Об'єктом досліджень є гранули штучного пористого заповнювача із техногенної сировини гірничо-металургійних підприємств Криворіжжя та властивості компонентів шихти для виготовлення штучного пористого заповнювача, її склад в залежності від впливу процесу термообробки. Застосовувалися стандартні та спеціальні методи для визначення й дослідження властивостей компонентів та складу шихти, а також сировинних гранул заповнювача. Для обробки результатів експериментів використовували статистичний аналіз.

Викладення матеріалу та результати. З огляду на викладене, в даній роботі поставлена мета отримання легких заповнювачів на основі відходів техногенної сировини і розробка способу їх отримання, що відрізняється зменшеними енергозатратами.

Міцність вологих і висушених при 220-250°C гранул зростає із збільшенням часу грануляції і кількості змочувального розчину. При збільшенні щільності змочувального розчину та крупності сировинного порошку міцність гранул знижується не суттєво. Міцність вологих гранул достатня для транспортування їх в сушильно-нагрівальний барабан і складає 180-280 Н/гранул. Така висока міцність сприятиме збереженню гранул при русі їх в печі, що обертається, де вони піддаються стираючій дії.

Зразки отриманих пористих заповнювачів темно-коричневого кольору, що мало відрізняються один від одного, мають великопористу структуру з кавернами. Пори в основному округлої форми, розміром 240 – 950 мкм. Поверхня заповнювача частково оплавлена і відрізняється від внутрішніх шарів меншою пористістю. Відсутність щільною кірки, яка не спеклася на поверхні нового заповнювача, як і очікувалося, вестиме до підвищеного зчеплення цементним каменем, що, зрештою, приведе до підвищення міцності бетону [2].

На рис. 1-3 приведені залежності властивостей сирцових гранул і отриманого з них штучного пористого заповнювача актипорориту від крупності сировинного порошку, кількості та щільності змочувального розчину, часу грануляції та кількості складових шихти.

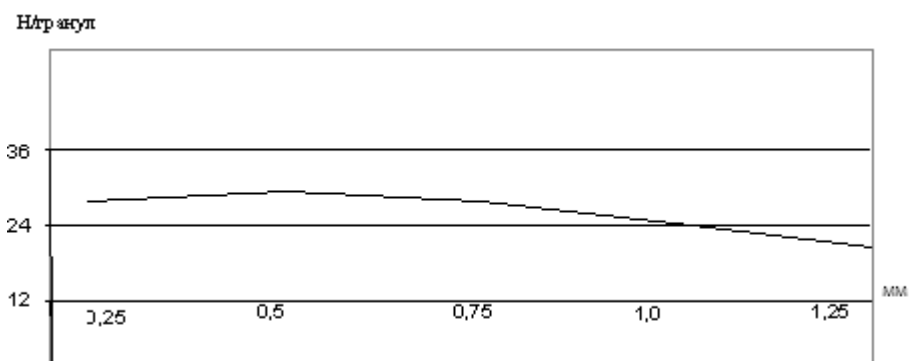


Рис. 1. Залежність міцності вологих сировинних гранул від крупності сировинної суміші, мм

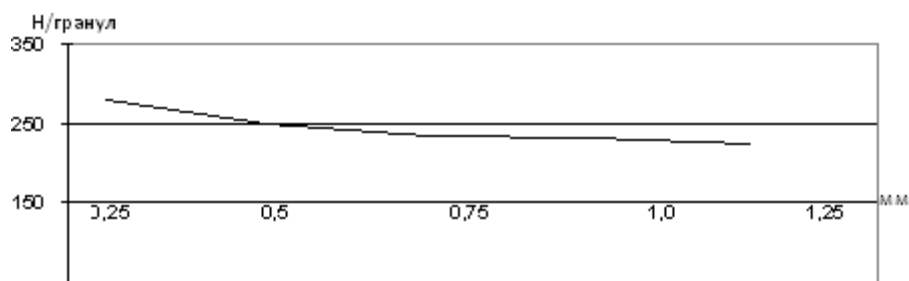


Рис.2. Залежність міцності сухих сировинних гранул від крупності компонентів шихти, мм

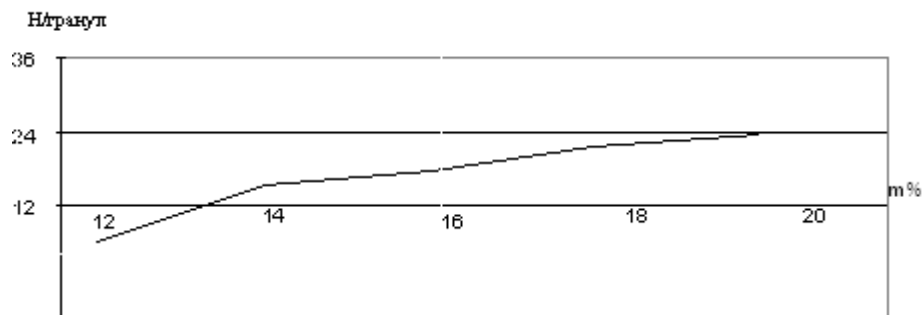


Рис. 3. Залежність міцності сирих гранул заповнювача від кількості змочувального розчину, m %

Аналіз результатів підбору складів легких бетонів показав, що їх міцність на пористих заповнювачах- актипороритах із техногенної сировини зростає із збільшенням витрати об'єму

в'язучого в бетоні. На рис. 4 представлені залежності міцності легких бетонів різних складів на пористих заповнювачах із техногенної сировини від витрат в'язучого

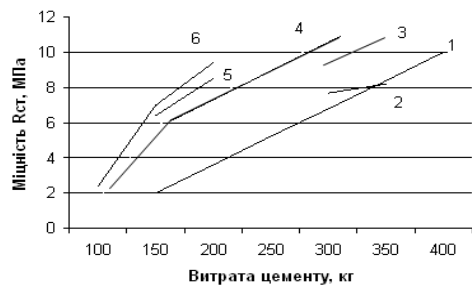


Рис.4. Залежність міцності бетону від витрат в'язучого

В результаті проведених експериментів отримані склади легких бетонів на пористих заповнювачах із техногенної сировини класів міцності В3,5; В5,0; В7,5 з витратами цементу менше нормативних на 50-60%

Основною властивістю бетонів є його міцність при стисненні. Саме міцність бетону або його клас необхідний при розрахунку бетонних і залізобетонних конструкцій.

Відомо, що при дослідженні бетону що має в своєму складі новий заповнювач, дуже важливим моментом є встановлення залежності між міцністю бетону та його структурою.

За наслідками експерименту побудовані залежності міцності легких бетонів на пористих заповнювачах-актипорориту із техногенної сировини на розтягування при вигині від міцності на стиснення (рис. 5).

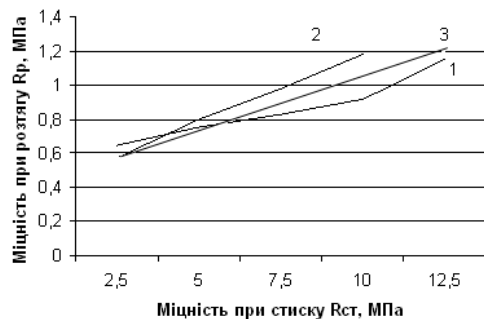


Рис. 5. Залежність бетонів різних складів між міцністю на стиск і на розтяг

Аналіз отриманих результатів показав, що руйнування легкого бетону на пористих заповнювачах-актипороритах із техногенної сировини і керамзитобетону відбуваються однаково.

Залежність між міцністю таких бетонів на стиск та їх призматичною міцністю характеризуються графіками на рис. 6.



Рис. 6. Залежність бетонів між міцністю на стиск та призматичною міцністю: 1 – легкий керамзитобетон; 2 - легкий бетон на пористих заповнювачах-актипороритах із техногенної сировини

Морозостійкість є основним показником довговічності легких бетонів на пористих заповнювачах із техногенної сировини, матеріалу, що володіє підвищеним водопоглинанням.

По морозостійкості конструкційно-теплоізоляційний легкий бетон на пористих заповнювачах із техногенної сировини отриманий марок F 35,

F50, F75, F100, F150.

Аналіз отриманих результатів дозволяє відзначити, що легкий бетон на пористих заповнювачах-актипороритах із техногенної сировини має необхідну морозостійкість для кліматичних умов України.

Теплотехнічні властивості легких бетонів на пористому заповнювачі із техногенної сировини визначали в залежності від його середньої щільності, якісного і кількісного складу заповнювача, кількості та ступеню поризації в'язучого на зразках діаметром 25см і завтовшки 2см.

Коефіцієнт теплопровідності легких бетонів на пористих заповнювачах із техногенної сировини менший, ніж для звичайного керамзиту на 15-20%. Це забезпечує такому матеріалу істотні переваги в житловому будівництві.

Легкий бетон на пористих заповнювачах із техногенної сировини характеризується складною системою пір, що відрізняються один від одного розмірами і формою порового простору.

Результати досліджень показують, що велика пористість легких бетонів на пористих заповнювачах із техногенної сировини знижується із зростанням середньої щільності бетону, як і об'єм відкритих капілярних пір. Таким чином, характер і об'єм пористості легких бетонів на пористих заповнювачах із техногенної сировини в порівнянні із керамзитобетоном, має більший відсоток умовно закритих пір при більшому значенні загальної пористості. Зменшення відкри-

тої пористості легких бетонів на пористих заповнювачах із техногенної сировини сприяє збільшенню його морозостійкості.

Водопоглинання бетону дає великий вплив на його теплозахисні властивості і довговічність.

Результати досліджень показують, що водопоглинання актипороритобетонів найінтенсивніше в період перших семи діб. Потім водопоглинання носить затухаючий характер. По абсолютній величині водопоглинання актипороритобетону значно менше ніж керамзитобетон.

Випаровування води з легких бетонів на пористих заповнювачах із техногенної сировини відбувається порівняно поволі і залежить від його водозмісту, щільності, а також температури і вологості повітря.

Сушка зразків проводилася в приміщенні з температурою повітря 18-20°C, відносна вологість повітря 60%.

Дослідження водовіддавання бетону свідчать, що рівноважну вологість легкий бетон на пористих заповнювачах із техногенної сировини приймає через 3 місяці.

Водопоглинання легких бетонів на пористих заповнювачах із техногенної сировини менше, ніж керамзитобетону на 19-20%. Пояснити це можна зменшенням кількості відкритих пір.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Виконані дослідження дозволили розробити спосіб виробництва штучного пористого заповнювача для бетону – актипорориту із техногенної сировини гірничо-металургійних підприємств Кривого Рогу. Даний спосіб і використані компоненти шихти відрізняються від відомих і забезпечують отримання легкого заповнювача - актипорориту досить високої якості із зниженими енерговитратами.

Проведені дослідження дали змогу встановити крупність сировинного порошку, час його грануляції на властивості сировинних гранул штучного пористого заповнювача - актипорориту та встановити оптимальні їх значення:

міцність сировинних гранул при стисканні - 10,5 Н/ок та міцність при ударі - 6 разів;

сировинні матеріали повинні бути подрібнені до частинок розміром 1 мм;

час грануляції порошку 7 хв.

Подальші проведення досліджень по використанню техногенної сировини гірничо-металургійних підприємств Криворіжжя для виготовлення будівельних матеріалів зокрема штучних пористих заповнювачів та бетонів на його основі є актуальним, так як зменшує матеріальні витрати та енергоресурси на виробництво, розширює сировинну базу і покращує екологічну обстановку.

Список літератури

1. **Симонов М.З.** Основы технологии легких бетонов / **М.З. Симонов.** – М.: Стройиздат, 1993. – 581 с.
2. **Кривенко П.В.** Заповнювачі для бетону: [Підручник] / **П.В. Кривенко, К.К. Пушкарьова, М.О. Кочевих.** – К.: ФАДА ЛТД, 2001. – 399 с.
3. **Барышников В.Г.** Вторичные материальные ресурсы горной металлургии: [Справочник] / **В.Г. Барышников, Г.И. Пашков** и др. – М.: Экономика, 1986. – 344 с.
4. **Онацкий С.П.** Производство керамзита / **С.П. Онацкий.** - М.: Стройиздат, 1987. - 333 с.
5. **Комиссаренко Б.С.** Керамзитобетон для эффективных ограждающих конструкций / **Б.С. Комиссаренко, А.Г. Чикноворьян.** - Самара: СамГАСА, 2003. – 134 с.
6. **Шишкин А.А.** Поризованные бетоны для ремонта строительных конструкций: Монография/ **А.А. Шишкин, Ю.И. Чабан.** – Кривой Рог: «Минерал», 2005. – 160 с.
7. **Макридин Н.И.** Искусственные пористые заполнители и легкие бетоны: учеб. пособие / **Н.И. Макридин, И.Н. Максимова.** – Пенза: ПГУАС, 2013. – 324 с.
8. **Хільченко О.П.** Режим термообработки в залежності від складу шихти при виготовленні штучних наповнювачів з техногенної речовини / Науковий вісник будівництва. Харків-2016. -2(84)-С.280-284
9. **Хільченко О.П.** Структурні особливості штучного пористого заповнювача – пульпо пору із відходів гірничо-металургійних підприємств / Качество минерального сырья. Сб. науч. праць. т.2 – 2018. С. 186-191

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ НАДПРОВІДНОГО МАТЕРІАЛУ
ОБРОБКОЮ МЕТАЛІВ ТИСКОМ**

Мета: розробити технологічний процес виготовлення надпровідного матеріалу обробкою металів тиском прокатуванням, який дозволить збільшити інтервал температур, де електричний опір провідника падає до нуля, що відкриває можливість зробити виробництво надпровідного продукту більш масовим, простим і дешевшим.

Методи: засновані на використанні теоретичного аналізу і експериментальної перевірки прийнятих гіпотез і отриманих результатів. Основу теоретичних досліджень складають основні положення металознавства, механіки суцільних середовищ, теорії пластичності. В експериментальних дослідженнях використовувалися стандартні методи та технології визначення залежності електроопору матеріалу від режимів обробки тиском.

Наукова новизна полягає у виявленні способів утворення надпровідного матеріалу, що здатен працювати в умовах оточуючого природного середовища, без додаткових охолоджувачів, зосередивши зони окислів у центрі циліндричного виробу за допомогою обробки безперервно-литої заготовки поперечно-гвинтовим прокатуванням.

Практична значимість: полягає у розробці технологічного процесу з використанням валкової розливки та обробки металів тиском у прокатних валках поперечно-гвинтового прокатування, що дозволяє отримати продукт з характеристиками надпровідного матеріалу, який може працювати при температурі оточуючого середовища без додаткових охолоджувачів.

Результати: виявлено, що електричний опір провідника може падати до нуля при охолодженні його до температури нижче критичної, а також при утворенні домішок і інших дефектів структури, які виникають при пластичній деформації сталі, що зменшує її електричний опір шляхом утворення розпушення металу дислокаціями і дефектами в структурі. Таке місце, де буде наявність домішок і дефектів структури в металічних зразках можна штучно створити при виробництві металевих труб. При поперечно-гвинтовій деформації під час обтиснення сталі періодично змінними напруженнями на стиснення і розтягування, а особливо при тангенціальних напруженнях на зсув, які розпушують сталь, утворюється пористість в матеріалі і формується волокниста структура, що дозволяє покращити електропровідність матеріалу.

Ключові слова: надпровідний матеріал, поперечно-гвинтове прокатування, критична температура, відсутність електроопору, дефекти кристалічної структури.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-123-127

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Розвиток народного господарства і промисловості потребує більш дешевого способу виготовлення надпровідного матеріалу при створенні магнітних систем різного призначення для генерації постійних магнітних полів, наприклад, у термоядерних реакторах для утримання плазми, прискорювачах елементарних частинок, накопичувачах енергії і інших пристроях, в транспорті на магнітній подушці. Надпровідний матеріал характеризується тим, що його електричний опір зовсім зникає. Така властивість провідника спостерігається при охолодженні його до температури, нижче критичної, для чого використовують додаткові охолоджувачі, а також при утворенні домішок і інших дефектів будови, які виникають при пластичній деформації сталі, що зменшує електричний опір матеріалу шляхом утворення розпушення металу дислокаціями і дефектами в структурі, яка досягається при виготовленні труб поперечно-гвинтовим прокатуванням. Тому, знайти нові, більш дешеві способи виготовлення надпровідного матеріалу та дослідити, як зменшується електричний опір в умовах обробки тиском є задача актуальна, що дозволяє застосувати більш широке використання магнітної енергії.

Аналіз досліджень і публікацій. У минулому столітті широко розповсюджувалося освоєння магнітної енергії: з'явилися автомобілі та потяги на магнітних подушках, винайдено рейкотрон – кінетична гармата – зброя майбутнього. Але широке застосування в промисловості магнітної енергії перешкоджає поки що відсутність дешевих надпровідних матеріалів, що здатні працювати при температурі оточуючого середовища. Надпровідність матеріалу – властивість багатьох провідників електричного струму, яка полягає в тому, що їх електричний опір стрімко падає до нуля при охолодженні нижче визначеної критичної температури T_k , характерної для даного матеріалу. Надпровідність знайдена в більше, ніж двадцяти п'яти металічних елементах, у великого числа сплавів і інтерметалічних сполук, а також в деяких напівпровідниках. Падіння електропровідності до нуля відбувається на протязі дуже вузького, але кінцевого інте-

рвалу температур. Ширина цього інтервалу для чистих зразків дорівнює 10^{-3} – 10^{-4} К і зростає при наявності домішок і інших дефектів структури. Таке місце, де буде наявність домішок і дефектів структури в металічних зразках можна штучно створити при виробництві металічних труб поперечно-гвинтовим прокатуванням. Тому, запропонувати нову технологію виготовлення надпровідного матеріалу, що дозволить спростити процес його отримання та експлуатації є задача актуальна, що потребує подальшого вивчення та удосконалення.

Основне явище надпровідності: стрибкоподібне зникнення електроопору при зниженні температури вперше спостерігав Х. Камерліт-Огнес (1911) на ртуті і платині. Він прийшов до висновку, що ртуть при $T_k = 4,2$ К переходить в новий стан, якій внаслідок незвичайних електричних властивостей можна назвати надпровідним. Дещо пізніше він знайшов, що електроопір ртуті відновлюється при включенні досить сильного магнітного поля (його називають критичним магнітним полем H_k). Пізніше було виявлено, що падіння електроопору до нуля відбувається протягом дуже вузького, але кінцевого інтервалу температур; ширина цього інтервалу для чистих зразків дорівнює 10^{-3} – 10^{-4} К і зростає при наявності домішок і інших дефектів структури [1].

Відсутність електроопору в надпровідному стані найпереконливіше демонструється дослідами, в яких у надпровідному кільці збуджується струм, практично не затухаючий з часом. В одному з варіантів досліду використовується два кільця з надпровідного матеріалу. Більше кільце нерухомо закріплюється, а менше – концентрично підвищується на пружній нитці таким чином, що коли нитка закручується, площини кілець утворюють між собою деякий кут в присутності магнітного поля. При виключенні магнітного поля в кільцях збуджується струм, взаємодія між якими намагається зменшити попередній кут між площинами кілець: нитка закручується, а постійність кута закручування, яке спостерігається, свідчить про те, що струми в кільцях не затухають. Такі досліди дозволили виявити, що електроопір металу в надпровідному стані менше, ніж 10^{-2} Ом·см при температурі рідкого гелію (електроопір зразків міді і срібла дорівнюється біля 10^9 Ом·см при температурі рідкого гелію). Але надпровідник не є просто ідеальним провідником, як це вважалось ще протягом більше 20 років після відкриття надпровідності [1]. В 1912 році було знайдено ще два метала, що переходять у надпровідний стан при низьких температурах: свинець та олово. В 1919 році було знайдено, що уран також є надпровідником [2]. Існування значно більшої різниці між нормальним і надпровідниковим станом металу стало очевидно після того, як німецькі фізики В. Мейснер і Р. Оксендфельд (1933 р.) виявили, що слабе магнітне поле не проникає в глибину надпровідника. Особливо важливо, що не існує незалежно від того чи було поле включено до чи після переходу металу в надпровідний стан. Надпровідники знайшли застосування при розробці і створенні в Європейському центрі ядерних досліджень (CERN, Швейцарія) Великого адронного колайдера, призначеного для зустрічного прискорення потужних протонних пучків [3]. Зараз існують складні технології виготовлення надпровідного матеріалу, які потребують дорогих вихідних матеріалів і забезпечують можливість отриманого матеріалу працювати тільки в середовищі охолоджувачів – рідкого гелію або азоту, та при низьких температурних інтервалах, що є доволі дорогим та складним.

У попередніх дослідженнях вимірюваннями виявили, що падіння електроопору навколо напівпровідної кулі і навколо кулі зі зникаючим електроопором поблизу однієї з поверхонь металічного зразку на трьох послідовних етапах досліду: а) зразок знаходиться в нормальному стані, зовнішнє поле вільно проникає в глибину металу; б) зразок охолоджується нижче температури T_k , метал став надпровідним і магнітне поле виштовхнуто з металу; в) зовнішнє поле виключено $H < 0$ при $T < T_k$, а магнітне поле $H_{en} = 0$, при цьому зникає і намагніченість надпровідника. У випадку ідеального провідника потік магнітної індукції через зразок зберігає свою величину і виникає магнітне поле, таке ж саме, як у постійного магніту: падіння електроопору до нуля відбувається на протязі дуже вузького, але кінцевого інтервалу температур. Ширина цього інтервалу для чистих зразків дорівнює 10^{-3} – 10^{-4} К і зростає при наявності домішок та інших дефектів структури [1].

До недоліків цього способу отримання надпровідного матеріалу можна віднести те, що електричний опір провідника падає до нуля на протязі дуже вузького інтервалу температур.

Постійно розробляються нові технології з виготовлення надпровідного матеріалу і удосконалюються існуючі. В кінці минулого століття було знайдено високотемпературні надпровідники, які мають критичну температуру 164 К. До них відносяться сполуки, що засновані на

оксидах міді. В 2015 році було встановлено новий рекорд температури, при якій досягається надпровідність. Для H_2S під тиском 100 ГПа було зафіксовано надпровідний перехід при температурі 203 К ($-70^\circ C$) [4]. Зараз відомо до двох десятків високотемпературних напівпровідників, які є купратами різних металів: ітрієвими, вісмутові, талієві, ртутні [5]. Їх перевага в тому, що можна отримувати охолоджуючі порівняно дешевим азотом, недолік цього способу – отримання надпровідника, що має малу міцність.

Попередніми дослідженнями виявлено, що при прокатуванні істотно змінюється внутрішня структура оброблюваного матеріалу. В роботах [6, 7] визначено, що регулюючи режими обтиснення можна отримати бажаний розмір зерен, які утворилися в металах та сплавах, і границь між ними. Тому нами продовжуються роботи з удосконалення технології отримання напівпровідника, що може працювати при температурі, яка відповідає кліматичним умовам оточуючого середовища, без додаткових охолоджувачів.

Постановка задачі. Розробити технологію отримання надпровідного матеріалу за допомогою обробки металів прокатуванням, яка дозволяє збільшити інтервал температур, де електричний опір провідника падає до нуля. Це забезпечить процес виробництва надпровідного продукту зробити більш масовим, простим і дешевшим.

Методика дослідження заснована на наукових положеннях металознавства та металографії, теорії обробки металів тиском, динаміки та кінематики процесу, використовувався теоретичний аналіз і експериментальна перевірка прийнятих гіпотез і отриманих результатів. Основу теоретичних досліджень складають основні положення механіки суцільних середовищ, теорії плинності, методи розв'язання динамічної задачі пружно – пластичної деформації. В експериментальних дослідженнях використовувалися стандартні методи та технології визначення залежності електроопору матеріалу від режимів обробки тиском.

Викладення матеріалу досліджень та результати. В дослідженнях було використано наукові положення металознавства та металографії, теорії обробки металів тиском, динаміки та кінематики процесу, використовувався теоретичний аналіз і експериментальна перевірка прийнятих гіпотез і отриманих результатів. Основу теоретичних досліджень складають основні положення механіки суцільних середовищ, теорії плинності, методи розв'язання динамічної задачі пружно – пластичної деформації. В експериментальних дослідженнях використовувалися стандартні методи та технології визначення залежності електроопору матеріалу від режимів обробки тиском.

Дослідженнями виявлено, що критична температура, яка забезпечує перехід провідника в стан надпровідності залежить не тільки від складу сплаву, а й від способу його виготовлення, концентрації компонентів, кристалічної модифікації тощо. Збільшення інтервалу температур, де електричний опір провідника падає до нуля, можливо при утворенні домішок і інших дефектів структури, які виникають при пластичній деформації сталі, яка зменшує її електричний опір шляхом утворення розпушення металу дислокаціями і дефектами в структурі. Таке місце, де буде наявність домішок і дефектів структури в металічних зразках можна штучно створити при виробництві металічних труб. Такими речовинами, що мають домішки є сталеві матеріали, до складу яких входять окисли заліза і кремнію, і вуглець. Ці домішки при затвердінні сталі під час її охолодження являються неметалічними включеннями і виконують роль створювачів дефектів в сталевих виробках. При поперечно-гвинтовому прокатуванні сталі, під впливом періодично змінних напружень на стиснення і розтягання, а особливо при дії тангенційних напружень на зсув, які розпушують сталь і призводять до утворення пористості та роблять структуру волокнистою, виникає можливість покращити електропровідність матеріалу [8, 9, 11, 12].

У результаті досліджень пропонується технологічний процес, який дозволяє масово і дешево виготовляти надпровідний матеріал. Така технологія засновується на обробці металів тиском з використанням поперечно-гвинтового прокатування і валкової розливки сталі. Технологічна схема виготовлення надпровідного матеріалу представлена на рис. 1.

Вихідний матеріал, що використовується – розкислена рідка сталь. Для забезпечення наявності неметалічних включень в центральній осевій частині циліндричних зливків даною технологією пропонується розкислену сталь розливати у валки-кристалізатори, які обертаються, застосовуючи валкову розливку сталі: завдяки обертанню в центрі зливка будуть зосереджуватися окисиди розкислювачів – Al_2O_3 , SiO_2 , MnO та інші, які мають температуру плавлення більшу, ніж температура плавлення сталі. Охолодження металу відбувається у валках-

кристалізаторах, де одночасно здійснюється і м'яке обтиснення металічних сплавів. При попереочно-гвинтовому прокатуванні труб зі сталевих циліндрів у їх центрі навколо осі утворюється розпушення сталі, заповнене дефектами структури – дислокаціями і порами, тобто створюються умови надпровідності. Для забезпечення зручності використання надпровідних трубок пропонується розкатати їх у стрічки, що не зашкодить їх надпровідності, особливо, якщо окремі трубки з'єднати матеріалами, що добре проводять електричний струм – мідним дротом перед розкатуванням. Це дозволить використовувати надпровідний матеріал в інтервалі температур природного оточуючого середовища, без використання охолоджувачів у термоядерних реакторах для утримання плазми, прискорювачах елементарних частинок, в накопичувачах енергії та інших пристроях, у транспорті на магнітних подушках [12].

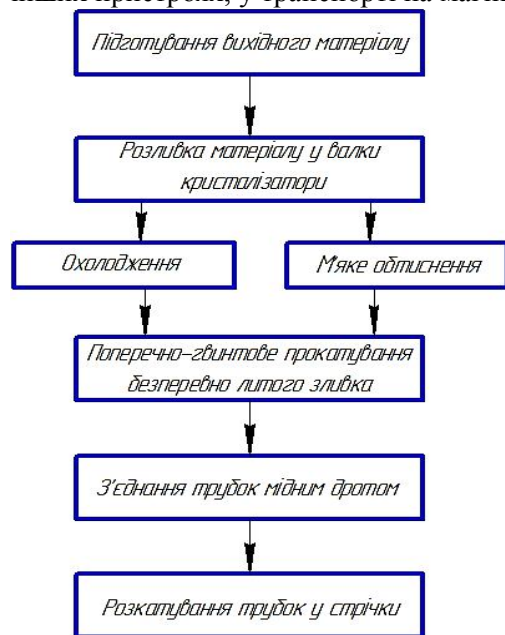


Рис. 1. Технологічна схема отримання надпровідного матеріалу

У результаті освоєння нової технології відкривається можливість отримати більш дешевий надпровідний матеріал, який можна використовувати в умовах природного навколишнього середовища. Експериментальні дослідження дозволяють визначити закономірності впливу режимів обтиснення на структуру, на зміну електропровідності матеріалу, що впливає на якість матеріалу.

Перевага такої технології в тому, що при виробництві надпровідного матеріалу використовують широко розповсюджені недорогі матеріали, процес виробництва надпровідників порівняно простий, який виконується стандартним обладнанням, не потребує чисельних складних операцій з формування та термообробки, не має потреби в особливих умовах експлуатації. Пропонуємо спосіб дозволить отримати якісний надпровідний матеріал і збільшити його критичну температуру охолодження, не використовуючи ні які додаткові охолоджувачі, що суттєво зменшує вартість виробництва такого продукту.

Висновки та напрямок подальших досліджень:

Висновки та напрямок подальших досліджень:

виконаний аналіз методологічних підходів до вивчення і удосконалення процесів утворення надпровідного матеріалу, який здатен працювати при температурі оточуючого середовища показав, що утворити такий матеріал можна зосередивши у центрі заготовки зони окислів за допомогою обробки металів прокатуванням;

визначено послідовність операції з використанням валкової розливки та обробки металів тиском у прокатних валках попереочно-гвинтового прокатування, що дозволить отримати продукт з характеристиками надпровідного матеріалу, який може працювати при температурі оточуючого середовища без додаткових охолоджувачів.

Список літератури

1. Мічіо Кайсу. Фізика майбутнього/ Переклала з англ. Анжела Кам'янець. – Львів: Літопис, 2013. – 432 с.
2. Dirk van Delft and Peter Kes [The discovery of superconductivity//Physics Today](#). – 2010. – Vol.63. – P. 38-43.
3. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 8: Создание ускорителей заряженных частиц // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2012. – №3. – С. 3-10.
4. А. Р. Drozdov, М. І. Eremets, І. А. Troyan, V. Ksenofontov, S. I. Shylin [Conventional super conductivity at 203 kelvin at high pressures in the sulfur hydride system//Nature](#). – 2015. – DOI:10.1038/nature14964.
5. Транковский С. Сверхпроводимость и сверхтекучесть. – Наука и жизнь. – № 2, 2004. – С. 155.
6. Визначення впливу режиму обтиснення при прокатуванні на внутрішню будову металу/ Чубенко В.А., Хіноцька А.А. // *Качество минерального сырья. Сборник научных трудов*, Т. 2, Кривой Рог: Изд. центр ГВУЗ «КНУ», 2018. – С. 151-159.
7. Аморфність та міцність сталі / Бережний М.М., Чубенко В.А., Хіноцька А.А., Мацішин С. // *Вісник Криворізького технічного університету*. – Кривий Ріг: КТУ, 2013. – Вип. 34. – С.242 – 245.
8. Г.М.Эмлашберг. Сверхпроводимость. БСЭ. – III изд.-е, 1976. – С. 55.

9. Мендельсон К. На пути к абсолютному нулю. Пер. с английского. М.: 1971.
10. Чекмарев А.П., Дрян В.М. Теория прокатного производства. М.: Металлургия, 1978. – 255 с.
11. Бельченко Г.И., Губенко С.И. Основы металлографии и пластической деформации стали/ Киев: Выща школа, 1987. – 240 с.
12. Патент України № 106236 Спосіб виготовлення надпровідного матеріалу/ М.М.Бережний, В.А. Чубенко, Ю.П. Калініченко, А.А. Хіноцька, С.О. Мацішин, А.О. Шепель, В.А. Чубенко. Заяв. 14.09.2015, опубл. 25.04.2016, бюл. №8.

Рукопис подано до редакції 08.04.2019

УДК 694

С.І. САХНО, Л.О. ЯНОВА, О.В. ПИЩИКОВА, кандидати техн. наук, доценти
Криворізький національний університет

СУТТЄВІ ПОМИЛКИ В ДБН В.2.6-161:2017 «ДЕРЕВ'ЯНІ КОНСТРУКЦІЇ ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ» ТА ЇХ МОЖЛИВІ НАСЛІДКИ

Мета. Знаходження суттєвих помилок в державних будівельних нормах, що можуть призвести до небажаних наслідків при розрахунках і експлуатації конструкцій з деревини виникненню аварійних ситуацій і можливих матеріальних і людських втрат.

Методи досліджень. Дослідження велись шляхом порівняння суб'єкту дослідження ДБН В.2.6-161:2017 «ДЕРЕВ'ЯНІ КОНСТРУКЦІЇ ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ» з першоджерелом EN 1995-1-1 :2004+A 1 «Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General -Common rules and rules for buildings. English version».

Результати. Виявлено чисельні помилки, що значно ускладнюють, а в деяких випадках і унеможливають розрахунок конструкцій з деревини. Ситуація з використанням державного нормативу з існуючими на даний момент помилками, здатна призвести до суттєвих порушень в стійкості і безпечній експлуатації дерев'яних конструкцій і як наслідок, до виникнення аварій, пожеж, втрат.

Наукова новизна. В результаті досліджень розглянуто можливий вплив помилок ДБН В.2.6-161:2017 на надійність конструкцій, розрахованих згідно означених будівельних норм. Виявлено, що в вітчизняних нормативних документах що стосуються міцності листових матеріалів з деревини відсутні терміни, що відповідають вживаним в європейських нормативних документах термінам planar (rolling) shear та panel shear.

Практична значимість. Дослідження дозволяють привести будівельні норми ДБН В.2.6-161 у відповідність з Єврокодами, що допоможе зменшити відставання у проектуванні за Єврокодами в Україні, дозволить залучити більше міжнародних інвестицій, та зменшити складності з виходом вітчизняних виробників на ринок ЄС, запобігти руйнуванню дерев'яних будівель, споруд, конструкцій, виникненню аварійних ситуацій і людським втратам. Запобігання негативним наслідкам можливо за умов перегляду, переробки нещодавно прийнятих державних будівельних норм ДБН В.2.6-161:2017. Основним напрямком забезпечення безпеки на виробництві - є розробка на рівні державного регулювання ретельно перевіреної та безпомилкової нормативної бази.

Ключові слова: державні будівельні норми, деревина, матеріали з деревини, проектування, помилки, наслідки, руйнування споруд, травматизм, людські і матеріальні втрати.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-127-132

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Глобальне переосмислення навколишнього середовища і здоров'я в широкому сенсі призводить до великих змін практично в кожній галузі. Зростаюча потреба в індивідуальності та автентичності, а також пошук стабільних, екологічно сумісних, кліматично нейтральних методів життя та будівництва допомагають надати нову популярність матеріалу: дереву. Його характеристики як відновлюваної сировини, як здорового, універсального і здатного до комбінування з іншими будівельними матеріалами, гарантують, що будівництво і життя з деревом стануть набагато більш поширеними. Не в останню роль в цьому грає те, що деревина також набирає популярність завдяки своїм естетичним якостям. Як матеріал, дерево має всі переваги, які сьогодні цінуються і будуть цінуватися в майбутньому: здоровий внутрішній клімат, високий фактор хорошого відчуття, сучасний дизайн і енергетично свідомий спосіб будівництва. Все це - показник високої якості життя в очах все більшої кількості людей. Саме це веде до все ширшого застосування деревини, в якості будівельного матеріалу. На жаль в Україні будівництво з деревини стримується відсутністю сучасних нормативних документів, які можна було б використовувати для розрахунку дерев'яних конструкцій. В лютому 2018 року набули чинність [1]. Однак це не при-

звело до суттєвого збільшення об'ємів будівництва з деревини. Причинами цього є відсутність методичних матеріалів до використання цих норм та чисельні помилки, що були допущені при його підготовці.

Аналіз досліджень і публікацій. Враховуючи відсутність вітчизняної навчальної літератури з методики розрахунків конструкцій з деревини, було прийнято рішення про написання даної статті, що дозволить викладати дисципліни «Конструкції з деревини та пластмас» та «Охорона праці в будівництві» і «Цивільний захист» згідно європейських стандартів. При написанні статті використовувалися будівельні норми [1] та єврокоди [2] та ряд інших нормативних документів, на які були посилання в [1,2].

Постановка завдання. Робота над статтею виявила чисельні помилки в [1]. Причому, мова йде не тільки про орфографічні помилки, яких, до речі також велика кількість, а про помилки, які не дозволяють використовувати [1] для розрахунку конструкцій з деревини та конструкцій з матеріалів з деревини. Помилки виявлялись шляхом порівняння інформації, що наведена в [2] та відповідної інформації з [1].

Викладення матеріалу та результати. Нижче буде наведено виявлені помилки, та до кожної надано відповідні коментарі. Виявлені помилки розташовані в тому порядку, в якому вони були виявлені при написанні статті по аналізу нормативних документів.

Помилка: В таблицях Б.3, Б.4 додатків не наведені значення $G_{0,05}$ для клеєної деревини та не дана рекомендація по його розрахунку. Згідно [3] $G_{0,05}=5/6 G_{mean}$.

Пояснення: $G_{0,05}$ – 5 % квантиль значення модулю зсуву. Цей параметр використовується при розрахунках критичного напруження згину (формула (9.25) [1]). Відсутність в [1] методики розрахунку цього параметру унеможливило розрахунок стійкості балок з клеєної деревини.

Помилка: В формулі (9.23) [1], що дає методику розрахунку k_{crit} допущено помилку. Для випадку $\lambda_{rel} > 1,4$ замість $k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2}$ (формула (6.34) [2]) наведено $k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}}$, що, наприклад, при $\lambda_{rel} = 1,5$ збільшує значення k_{crit} в 1,5 рази (на величину λ_{rel}).

Пояснення: Значення k_{crit} використовується для перевірки плоскої форми деформування елементів, що працюють на згин (формула (9.22) [1]). Помилкове збільшення k_{crit} веде до необгрунтованого збільшення стійкості (розрахункової а не фактичної) плоскої форми деформування елементів, що працюють на згин. Фактично, при використанні формули (9.23) [1] для випадку $\lambda_{rel} > 1,4$, буде отримано занадто оптимістичний прогноз стійкості відповідної конструкції, що після її монтажу і завантаження може призвести до втрати стійкості і руйнування.

Помилка: В формулі 10.10 відсутня замикаюча дужка. Замість $v = \frac{4(0,4 + 0,6n_{40})}{mbl_{ef} + 200}$ (формула

(7.6) [2]) наведено $v = \frac{4(0,4 + 0,6n_{40}}{mbl_{ef} + 200}$.

Пояснення: Формула 10.10 призначена для розрахунку фактичної величини імпульсної швидкості конструкції під дією імпульсного навантаження. Помилкове винесення n_{40} за дужки дасть завищене значення імпульсної швидкості, що в подальших розрахунках приведе до необхідності необгрунтовано збільшувати перетин конструкції, що позначиться на її матеріалоемності і вартості, а також приведе до збільшення загальної ваги конструкції.

Помилка: В формулі 10.11 допущено помилку. Замість $n_{40} = \left(\left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \left(\frac{b}{l_{ef}} \right)^4 \frac{(EI)_l}{(EI)_b} \right)^{0,25}$

(формула (7.7) [2]) наведено $n_{40} = \left(\left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \left(\frac{b}{l_{ef}} \right) \frac{(EI)_l}{(EI)_b} \right)^{0,25}$.

Тобто значення $\left(\frac{b}{l_{ef}} \right)$ в формулі повинне враховуватись в четвертому ступені, а не в першому.

Пояснення: Формула призначена для розрахунку номеру першої форми коливань з власною частотою 40 Гц, що використовується в формулі (10.10) [1] для розрахунку фактичної величини імпульсної швидкості конструкції під дією імпульсного навантаження. Невірний розрахунок значення n_{40} має ті ж наслідки, що і в попередньо розглянутій помилці в формулі (10.10) [1].

Помилка: В формулах (11.43 а) та (11.43 б) замість $\sigma_{w,inst,c,d}$ і $\sigma_{w,fin,c,d}$ наведено $\sigma_{f,inst,c,d}$ і $\sigma_{f,fin,c,d}$.

Пояснення: Формули (11.43 а) та (11.43 б) призначені для розрахунку максимальних стискальних зусиль, що виникають в стінці балок від згину балок з плоскими фанерними стінками. Розрахунок балок з плоскими фанерними стінками включає в себе, окрім інших розрахунків, розрахунок напружень в полках і напружень в стінках балок. Напруження в полках позначається індексом f (від англійського *flanges*), їх розрахунок наведено в формулах (11.39 а) та (11.39 б). Напруження в стінках позначаються індексом w (від англійського *web*). Тому в формулах (11.43 а) та (11.43 б) замість позначень $\sigma_{f,inst,c,d}$ і $\sigma_{f,fin,c,d}$ повинні бути позначення $\sigma_{w,inst,c,d}$ і $\sigma_{w,fin,c,d}$, відповідно.

Помилка: В таблиці А.2 додатку А в примітці а) допущено помилку. Замість «Значення k_{def} підвищується на 1,0 для суцільної деревини, яка при будівництві вбирає вологу у волокна або вже є вологою та в збудованому стані може висихати» (п. 3.2 (4) [2] «For timber which is installed at or near its fibre saturation point, and which is likely to dry out under load, the values of k_{def} , given in Table 3.2, should be increased by 1,0») написано «Значення для k_{def} підвищується до **1,0** для суцільної деревини, яка при будівництві вбирає вологу у волокна або вже є вологою та в збудованому стані може висихати».

Пояснення: Таблиця А.2 призначена для визначення коефіцієнта оцінки деформації повзучості з урахуванням експлуатаційного класу і тривалості навантаження. В свою чергу, k_{def} використовується для обчислення деформації повзучості елементів з деревини. Помилка в примітці а) до таблиці А.2 фактично обмежує k_{def} максимальним значенням 1. Теж помилково підтверджує розділ 6.5.4 [1]. Тобто, згідно [1], для деревини, яка має вміст вологості на межі гігроскопічності і яка може висохнути під навантаженням і яка має:

експлуатаційний клас 1, замість $k_{def}=0,60$ необхідно приймати $k_{def}=1,0$;

експлуатаційний клас 2, замість $k_{def}=0,80$ необхідно приймати $k_{def}=1,0$;

експлуатаційний клас 3, замість $k_{def}=2,0$ необхідно приймати $k_{def}=1,0$.

Як видно, згідно [1], несприятливі умови роботи конструкції в експлуатаційних класах 1 і 2, лише незначно збільшують значення k_{def} , а для експлуатаційного класу 3 навіть вдвічі його зменшують. Тобто несприятливі умови експлуатації навіть зменшують деформацію конструкції, що, звичайно не відповідає дійсності. Згідно [2] для деревини, яка має вміст вологості на межі гігроскопічності і яка може висохнути під навантаженням k_{def} необхідно збільшувати на 1,0. Тобто, в таких умовах для:

експлуатаційного класу 1, замість $k_{def}=0,60$ необхідно приймати $k_{def}=1,6$;

експлуатаційного класу 2, замість $k_{def}=0,80$ необхідно приймати $k_{def}=1,8$;

експлуатаційного класу 3, замість $k_{def}=2,0$ необхідно приймати $k_{def}=3,0$.

Такі значення коефіцієнту k_{def} значно збільшують розрахункові остаточні деформації конструкції, що дозволяє їх своєчасно врахувати в подальших розрахунках і забезпечити відповідність конструкції вимогам граничних станів експлуатаційної придатності. Використання норм [1], для деревини, яка має вміст вологості на межі гігроскопічності і яка може висохнути під навантаженням веде до значного, незапланованого збільшення деформації конструкції, а для елементів що працюють на осьовий стиск зі згином веде до неминучого їх руйнування.

Помилка: В [1] не зрозуміле використання позначень напружень сколювання в листових матеріалах (фанера, OSB).

Пояснення: Згідно [2], в таких листових матеріалах, як фанера або OSB розглядається два види сколюючих напружень *planar (rolling) shear* та *panel shear*, що дослівно переводяться як площинний (прокатний) зсув, та панельний (листовий) зсув. Панельне сколювання (*panel shear*) - це сколювання, яке виникає в поєднанні з вигином в площині і визначається по всій ширині перерізу (рис. 1 а). Прокатне сколювання слабкіше, ніж панельне, і застосовується в якості граничного напруження для розрахунку сколювання фанери і OSB, навантажених перпендикулярно поверхні, а також для клейових з'єднань в балках на межі розділу між полицею і стінкою (рис. 1 б).

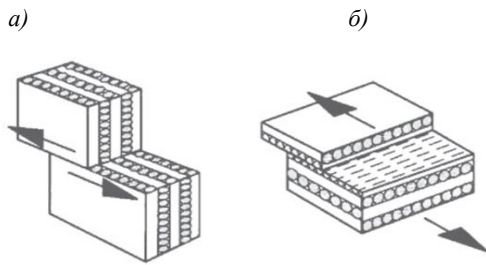


Рис. 1. Панельне та прокатне сколювання фанери

У розділі 6.1.7 [2] у примітках до формули (6.13) прямо вказується на те, що міцність на сколювання для rolling shear приблизно дорівнює подвійній міцності на розтягнення впоперек волокон.

Норми [1], посилаючись на [4], пропонує характеристичні значення міцності фанери в таб-

лицях Б.5, Б.6 і пропонує 2 види напружень сколювання: «Напруження в плитах – Сколювання $f_{v,k}$ » і «Напруження зсуву - Сколювання $f_{v,k}$ ». Судячи з назви, перше має відповідати panel shear, а друге rolling shear. Однак в таблицях значення «Напруження в плитах – Сколювання $f_{v,k}$ » менше ніж «Напруження зсуву - Сколювання $f_{v,k}$ », що абсолютно заплутує, і ускладнює розрахункові композитних конструкцій, що включають як деревину так і листові матеріали з деревини. Все ще більш ускладнюється тим, що обидві характеристики міцності, застосовні до різних розрахункових випадків, мають однакове позначення $f_{v,k}$.

У розділі 9.1.1 [2] у поясненнях до формули (9.10) прямо вказується, що в розрахунку має застосовуватися значення міцності для прокатного сколювання planar (rolling) shear strength. У розділі 11.3.7 [1], що є перекладом розділу 9.1.1 [2], в поясненнях до формули (11.52), що є копією формули (9.10) [2] просто вказано, що $f_{v,90,d}$ - розрахункове значення міцності матеріалу стінки при сколюванні, без пояснень, що повинен застосовуватися особливий вид міцності при сколюванні.

Ті ж зауваження стосуються таблиці Б.7 з характеристиками OSB/2 і OSB/3. Для характеристик OSB існує аналог заснований на [5]. Значення «Напруження в плитах – Сколювання $f_{v,k}$ » в [1] відповідають planar (rolling) shear в [5], а «Напруження зсуву - Сколювання $f_{v,k}$ », відповідають panel shear. Але, в [5] як і в [6] відсутні параметри, що відповідають параметрам «Напруження в плитах – Згин» і «Напруження в плитах – Стиск» в [1]. З [1] абсолютно не зрозуміло для яких розрахункових випадків застосовувати дані параметри. Це стосується як OSB так і фанери.

Розглянуті недоліки не дозволяють використовувати [1] для розрахунків конструкцій з листових матеріалів, виготовлених з деревини.

Помилка: В розділі 12.5.5.11 замість «Характеристична міцність при зминанні для гвинтів приймається: як для болтів при використанні гвинтів з гладкою частиною діаметром» замість « $d > 6$ мм» наведено « $d < 6$ мм».

Пояснення: Даний розділ призначено для розрахунку характеристичної міцності при зминанні гвинтів. Цей параметр, в свою чергу, використовується для розрахунків несучої здатності кріпильного елемента.

Невірне призначення міцності гвинтів на зминання веде до помилок в подальших розрахунках і можливого руйнування вузла кріплення при його експлуатації.

Помилка: Формула (12.44) наведена не вірно.

Пояснення: у формулі (12.44) замість $F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} (a) \\ f_{ax,k} \cdot d \cdot t + f_{head,k} \cdot d_h^2 (b) \end{cases}$ (формула (8.24) [2]),

дається $F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} (a) \\ f_{ax,k} \cdot d \cdot t \cdot f_{head,k} \cdot d_h^2 (b) \end{cases}$.

Тобто додавання замінено на множення. Дана формула призначена для розрахунку ефекту висмикування кріпильного елемента, де $F_{ax,Rk}$ – характеристична осьова несуча здатність елемента при висмикуванні для гладких нагелів. Цей параметр, в свою чергу, використовується для розрахунків несучої здатності кріпильного елемента.

Невірне призначення осьової несучої здатності елемента при висмикуванні веде до помилок в подальших розрахунках і можливого руйнування вузла кріплення при його експлуатації.

Помилка: У підрозділі 12.5.5.13 в поясненнях до формул (12.45), (12.46) наведені невірні вимоги до анкерування.

Пояснення: В поясненнях до методики визначення $F_{ax,Rk}$: «При визначенні характеристичних значень $F_{ax,Rk}$ з'єднувальних елементів повинні виконуватися такі вимоги з анкерування»:

замість «При довжині анкерування цвяха менше $8d$ значення несучої здатності при висмикуванні цвяха приймається за нуль.» написано «При довжині анкерування цвяха $8d$ значення несучої здатності при висмикуванні цвяха приймається за нуль.» Пропущене слово виділено авторами;

замість «При довжині анкерування цвяха менше $6d$ значення несучої здатності при його висмикуванні приймається за нуль.» написано «При довжині анкерування цвяха $6d$ значення несучої здатності при його висмикуванні приймається за нуль.» Пропущене слово виділено авторами.

Обидва випадка призначення несучої здатності відповідають 8.3.2 (7) [2], де наведені вірні методики.

Помилка в [1] примушує конструктора враховувати несучу здатність на висмикування гладких цвяхів при довжині анкерування цвяха менше $8d$ і інших типів цвяхів при довжині анкерування цвяха менше $6d$. Це веде до завищення розрахункової міцності вузла кріплення і можливого його руйнування при експлуатації.

Помилка: У підрозділі 12.5.5.24 [1] невірно надані рекомендації щодо застосування коефіцієнта K_u

Пояснення: У підрозділі 12.5.5.24 замість «Величинами, що дозволяють враховувати модуль жорсткості таких з'єднань, при розрахунку дерев'яних конструкцій за граничними станами експлуатаційної придатності є значення модуля ковзання K_{ser} , а при розрахунку за граничним станом несучої здатності - K_u .» написано «Величинами, що дозволяють враховувати модуль жорсткості таких з'єднань, при розрахунку дерев'яних конструкцій за граничними станами експлуатаційної придатності є значення модуля ковзання K_{ser} , а при розрахунку за граничним станом експлуатаційної придатності - K_u .» Помилку виділено авторами.

Коефіцієнти K_{ser} і K_u призначені для врахування піддатливості з'єднань, які впливають на розподіл зусиль між елементами конструкції. Помилка в [1] примушує конструктора застосовувати K_u і K_{ser} при розрахунку дерев'яних конструкцій за граничними станами експлуатаційної придатності. В той же час, згідно [1], при розрахунках за граничним станом несучої здатності піддатливість з'єднань враховувати не потрібно. Але це не вірно. Помилка в [1] веде до завищення розрахункової міцності вузла кріплення і можливого його руйнування при експлуатації.

Помилка: До формули (12.72) надано не вірні пояснення.

Пояснення: У поясненнях до формули (12.72) написано « F - навантаження, що діє на з'єднання за першим граничним станом», хоча для цього випадку повинне братися навантаження для другого граничного стану, оскільки K_{ser} застосовується при розрахунку дерев'яних конструкцій за граничними станами експлуатаційної придатності (п. 12.5.5.24 [1]).

Помилка: Формула (12.75) містить помилку.

Пояснення: Формула (12.75) повинна виглядати наступним чином $u_{fin} = \frac{F_{cd}}{K_{ser}} + c$.

В [1] вона виглядає так: $u_{inst} = \frac{F_{cd}}{K_{ser}} + c$. Тобто замість u_{fin} наведено u_{inst} . Формула (12.75)

призначена для розрахунку кінцевої деформації. Згідно [1] та [2] кінцева деформація позначається як u_{fin} . В той же час, позначення u_{inst} відповідає миттєвим деформаціям. Розрахунок миттєвих деформацій наведено в формулі (12.72). Помилка в [1] веде до плутанини в розрахунках.

Таким чином, виявлені помилки у впровадженому і діючому державному нормативному документі [1] здатні призвести до суттєвих порушень в стійкості і безпечній експлуатації дерев'яних конструкцій.

Такі порушення неминуче призведуть до травматизму, людських і матеріальних втрат, можливого виникнення аварій, пожеж. Безпечних аварій взагалі не існує, тому що вони завдають людських втрат і матеріальних збитків.

Забезпечення належної безпеки в суспільстві є важливою умовою нормального функціонування, обов'язковою умовою безпеки життєдіяльності людини, ефективної роботи суб'єктів господарювання.

Основним напрямком забезпечення безпеки на виробництві - є розробка на рівні державного регулювання ретельно перевіреної та безпомилкової нормативної бази.

Профілактика виробничого травматизму можлива лише за умови дотримання вимог з охорони праці, у тому числі тих, які направлені на забезпечення спорудження безпечних конструкцій і будівель.

Відповідно до статистики Державної служби України з питань праці, найчастіше нещасні випадки трапляються через організаційні причини (67 %), а потім технічні (10 %) і психофізіологічні (23 %). Організаційні причини – це також порушення вимог інструкцій, правил, норм, стандартів, технологічних регламентів. Організаційні причини мають, самі по собі, високий відсоток в аварійності і травмуванню на виробництві, а додавання до цих причин заздалегідь невірно виконаних розрахунків з використанням [1], неминуче призведе до надзвичайних ситуацій і травматизму.

Вважаємо, що замовчування помилок у [1] неприпустиме і потребує переробки і Perezatverdzhennya.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Авторами не було перевірено значну частину [1]. Тому, вочевидь, наведений в статті перелік помилок не є кінцевим. Але і вже виявлені помилки показують, що [1] не може бути використано для розрахунків складних конструкцій з деревини та з матеріалів на базі деревини. Враховуючи те, що [1] є невдалим та неповним перекладом [2], при розрахунках сучасних дерев'яних конструкцій краще користуватись [2]. В цьому зв'язку абсолютно не зрозуміла роль у розробці [1] одного товариства з обмеженою відповідальністю, чотирьох докторів наук та семи кандидатів наук.

Список літератури

1. ДБН В.2.6-161:2017 «ДЕРЕВ'ЯНІ КОНСТРУКЦІЇ Основні положення»
2. EN 1995-1-1 :2004+A 1 «Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General -Common rules and rules for buildings. English version»
3. DIN 1052:2004-08 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau
4. ДСТУ EN 636:2014 Фанера. Технічні умови (EN 636:2003, IDT)
5. EN 12369-1:2001 Wood-based panels - Characteristic values for structural design - Part 1: OSB, particleboard and fibreboard;
6. ДСТУ EN 300:2008 (EN 300:2006, IDT) Національний стандарт України. Плити деревинностружкові з орієнтованою стружкою (OSB). Терміни та визначення понять, класифікація та технічні вимоги.

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 621.31.3

І.О. СІНЧУК, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПОКАЗНИКІВ БАЛАНСУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПІДЗЕМНИМИ ЗАЛІЗОРУДНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ

Мета. Метою даної роботи є розробка формалізованих процедур визначення показників балансу споживання електричної енергії для підземних залізрудних підприємств.

Методи дослідження. В дослідженнях, для розробки формалізованих процедур визначення показників балансу споживання електричної енергії, використовувалися статистичні методи і відповідний інструментарій, а саме: кореляційно-регресійний аналіз, факторні методи, відповідність критеріям розподілу.

Наукова новизна полягає в імплементації методів економіко-статистичного аналізу до практики формалізації показників рівня споживання електричної енергії. Запропоновані методи дозволяють сформувати систему показників щодо визначення рівнів електроспоживання залізрудними підприємствами. Визначені множині регресійні рівняння відповідають запитам добувної промисловості задля побудови ефективних систем керування.

Практична значимість. Отримані результати доцільно використовувати в практичній діяльності залізрудних підприємств Криворізького регіону при вирішенні задач керування споживання електроенергією. Відсутність універсальності відбиває доцільність побудови регресійних моделей для кожного залізрудного підприємства. Практика дослідження множинного кореляційно-регресійного аналізу довела його дієвість. В процесі проведеного дослідження доведена доцільність проведення статистичний аналізу відповідних показників з метою оцінювання складових електробалансу з метою підвищення енергоефективності гірничорудних підприємств в рамках існуючих технологій.

Результати. Встановлено перелік споживачів, котрі формують форму добових графіків електричних навантажень залізрудного підприємства – так звані стаціонарні установки, що споживають більш ніж 80 % від загального

обсягу споживання електричної енергії. Застосування кореляційно-регресійного аналізу дозволило визначити суттєві впливові взаємозв'язки в електроенергетичній системі залізорудного підприємства. Запропоновано рекомендації відповідно до кожного підприємства індивідуально, щодо формування ефективних управлінських дій по електроспоживанню. Результати оцінювання впливових вагових формування електроенерговитрат на видобуток залізорудної сировини дають змогу диференціювати підходи до конструювання алгоритму керування рівнями електроспоживання, згідно техніко-технологічних умов, кожною окремо взятою копальнею. Проведений якісний та кількісний статистичний аналіз рівнів споживання електроенергії відповідає вимогам сучасних наукових досліджень.

Ключові слова: електроспоживання, підприємство, показники, статистичний аналіз, електробаланс, споживачі-регулятори, оптимальне керування.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-132-138

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними результатами. Згідно з прогнозом [1,2] до 2030 р. очікується тенденція щорічного зростання обсягів споживання електричної енергії в промисловій галузі України. Цей ріст обумовлюється перш за все відповідними існуючими і прогнозними процесами в гірничодобувній галузі. В 2017 р. в Україні видобуто 70% (ЗРС) відносно базового 1990 р. В цьому ж році більше 60% видобутку залізорудної сировини, видобутої підземним способом, спрямовано на експорт. Це значний вклад в стабілізацію валютних запасів держави.

Щорічне зростання собівартості видобутку ЗРС гірничорудними підприємствами України, з одночасним падінням ціни на цей вид корисних копалин, на міжнародному ринку сировини, сприяє як негативному росту в економіці як самих гірничорудних підприємств так і галузі держави в цілому [3].

Постає проблема державного значення – пошуку заходів котрі, якщо не дозволять зменшити показники собівартості видобутку ЗРС, то хоча б стримувати темпи зростання цього показника. Аналіз складових собівартості видобутку сировини свідчить, що майже 30% в цьому загальному показнику займає сегмент енергозатрат, де в свою чергу, більше 90% становлять електроенергозатрати [4-6]. Більш того, як свідчать всі ті ж дослідження, це якраз той самий сегмент собівартості видобутку ЗРС, котрий має значний і вельми реальний потенціал для його зменшення [2]. Водночас треба розуміти, що очікування достатньо ефективних результатів в аспекті, що аналізується, можливо тільки при втіленні в практику роботи залізорудних підприємств достатньо обґрунтованих наукових досліджень в цьому напрямку.

Аналіз досліджень і публікацій. Головний напрямок зменшення енергоемності видобутку ЗРС перш за все лежить в площині вибраної тим чи іншим підприємством технології ведення гірничих робіт. В розрізі даного наукового пошуку, зупинимось на вирішенні проблеми підвищення енергоефективності гірничорудних підприємств в рамках саме існуючих технологій. Такий підхід виглядає реальним ще і тому, що в найближчі 20-30 років будівництво нових підземних залізорудних підприємств в Україні не планується

Пошуку шляхів зменшення енерговитрат при видобутку ЗРС присвячено ряд наукових досліджень. Цю проблему вирішували як вчені гірники-технологи так і енергетики [4-12].

В аналізованому напрямку наукового пошуку на особливу увагу, згідно отриманих результатів, заслуговують дослідження [7-11]. Результати втілених в тій чи в іншій мірі досліджень вище відзначених дослідників дозволили вітчизняній гірничорудній промисловості деякий час стримувати безумовно негативний, проте логічний процес зростання витрат енергії при видобутку ЗРС. Проте сьогоденне функціонування залізорудних підприємств потребує нового підходу до вирішення проблеми їх енергоефективності, нової логіки рішення.

«Логіка» такої необхідності диктується, перш за все, погіршенням в даний час технологічних умов видобутку ЗРС [4].

По-друге більшість, з вищевідзначених, як і відомих наукових досліджень велись для умов видобутку ЗРС на глибинах до 1000 м. Зараз ці позначки вже перетнули рубежі 1500-2100 м. Зрозуміло, що обсяги рівнів споживання ЕЕ на таких глибинах, а значить і рівень їх впливу на загальні показники собівартості видобутку ЗРС, ростуть і будуть зростати в подальшому. Це призвело і призведе до втрати вітчизняною гірничорудною промисловістю гідного місця в конкурентоспроможності на світовому ринку ЗРС. Вихід один – базуючись на результатах відомих наукових пошуків, проводити додаткові дослідження в напрямку пошуку нових сучасних і достатньо ефективних рішень.

Як об'єктивну реальність, в аналізованому напрямку наукового пошуку, відзначимо, що, оцінюючи сучасну економічну ситуацію та тенденцію постійного зростання тарифів на електричну енергію, гірничі підприємства, як підприємства з технологією неперервного циклу функціонування, в останні 10-15 років дещо перебували в режимі функціонування своїх споживачів ЕЕ. Перш за все це терміни роботи комплексу енергоємних приймачів ЕЕ, перевівши їх відповідно до технології гірничих робіт, в льготно-економічні зони доби, котрі диференціюються як години пік, напівпік та ніч (рис.1). Саме таке «ділення» визначає тарифи на ціни спожитої ЕЕ, відповідно за ті чи інші години доби. Цікаво, що різниця цих тарифів, наприклад, між «піком» і «ніччю» в 2018 році сягнула майже 8-ми разів [12].

Враховуючи економічну ситуацію, вжиті підприємствами такі «організаційні» заходи, не зважаючи на їх простоту, дали підприємствам, де це запроваджено, значну – біля 20% економії матеріальних затрат за сплату за спожиту електричну енергію. Між тим, потенціал мір по підвищенню енергоефективності залізрудних підприємств не вичерпано. Перш за все це стосується можливостей адаптивного регулювання цим процесом в функції ряду технологічних факторів, котрі мають зміни своїх параметрів в процесі функціонування.

Для реалізації вищезазначеного постулату необхідно формалізувати лінійку споживачів – регуляторів електричної енергії. В ході дослідження [4-6], доведено, що в перелік таких приймачів для підземних залізрудних підприємств відносяться: водовідлив, скіпові підйомні установки (СкПУ), головний водовідлив, вентиляційні установки, дробильно-сортувальна фабрика (ДСФ).

Постановка завдання. Мета досліджень – розробка формалізованих процедур визначення показників балансу споживання електричної енергії для залізрудних підприємств.

Задачі дослідження:

формалізація формування складових електробалансу системи електропостачання залізрудних підприємств з підземними способами видобутку ЗРС, та визначення комплексу споживачів регуляторів з визначенням та декомпонуванням загальної цільової функції на локальні цільові для керування цими об'єктами;

розробка математичної моделі багатфакторного оптимального керування рівнями електроспоживання споживачами-регуляторами ЕЕ для розбудови алгоритму функціонування в цілому комплексу електропостачання-електроспоживання.

Виклад матеріалу та результати. Методологія складання електроенергобалансу гірничих підприємств відома і, більш того, затверджена ДСТУ.

Проте в аспекті кінцевого результату даного дослідження цікавим, на думку автора, як відправний момент вбачається статистичний аналіз показників складових балансу електроенергетичного комплексу: постачання – споживання ЕЕ гірничого підприємства.

В відповідності до запропонованої методології дослідження раціонального управління рівнями електроспоживання на залізрудних підприємствах Криворізького залізрудного регіону України, доцільно провести статистичний аналіз відповідних показників з метою оцінювання складових електробалансу: Ск. Пу; вентиляція, водовідлив, ДСФ.

Фактичні показники динаміки рівнів електроспоживання Ск. Пу; вентиляція, водовідлив, ДСФ наведені в табл.1-4.

Таблиця 1

Споживання електроенергії на ш. «Жовтнева» (кВт·год)					
	ш. «Жовтнева»	Ск.ПУ	Вентил.	Водовід.	ДСФ
2012	46546,22	10258	17566	8760	5389
2013	42977,31	8578	13618	18126	4788
2014	41829,29	11717	15140	8649	4264
2015	41783,45	8442	10822	16204	8381
2016	42678,32	9148	14834	9267	9267
2017	43673,34	7347	16082	9101	4814

Таблиця 2

Споживання електроенергії на ш. «Родіна» (кВт·год)					
	ш. «Родіна»	Ск.ПУ	Вентил.	Водовід.	ДСФ
2012	70501,87	0	0	0	0
2013	68458,16	8136	20557	29701	1825
2014	68037,22	6816	6816	29767	0
2015	69874,32	11448	20398	40686	3673
2016	71673,54	12528	20741	36330	4382
2017	45672,34	13704	20926	39205	4451

Таблиця 3

	ш. «Гвардійська»	Ск.ПУ	Вентил	Водовід	ДСФ
2012	44219,22	16658	13206	3045	5473
2013	41181,33	14567	14186	7453	3854
2014	43544,69	10294	13817	4780	1125
2015	42983,44	14141	16173	842	4862
2016	43784,32	16591	13534	704	5427
2017	47673,55	12883	14261	2769	3058

Таблиця 4

	ш. «Терновська»	Ск.ПУ	Вентил	Водовід	ДСФ
2012	42102,22	7033	15918	10410	2331
2013	41229,13	10258	16244	21350	4133
2014	42161,45	11668	15197	21492	2415
2015	44678,34	11635	16537	23398	2629
2016	43784,35	11942	16962	8829	2670
2017	45672,34	7011	15721	16001	1851

Наявність статистичної інформації є підґрунтям проведення аналізу на відповідність наведених даних щодо нормальному розподілу для проведення подальших досліджень (1)

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

де x – значення рівнів електроспоживання для залізородних підприємств; μ – математичне сподівання; σ – середнє квадратичне відхилення

Аналіз на відповідність нормальному розподілу проводився засобами Excel, отримані зведені результати наведені в табл. 5.

Таблиця 5

Назва підприємства	Порогове значення	Критерій коефіцієнта асиметрії		Критерій ексцеса		Висновок
ш. «Жовтнева»	0,05	0,37	0,78	-0,88	0,17	Гіпотеза про нормальність не відхиляється
ш. «Родіна»	0,05	0,91	0,98	-0,46	0,29	Гіпотеза про нормальність не відхиляється
ш. «Гвардійська»	0,05	1,16	1,01	-0,02	0,49	Гіпотеза про нормальність не відхиляється
ш. «Терновська»	0,05	0,96	0,99	-0,31	0,36	Гіпотеза про нормальність не відхиляється

Відповідно до даних наведених в табл. 5, можемо зазначити, що дані відповідають нормальному закону розподілу, тобто існують підстави отримані висновки щодо статистичного аналізу вважати дійсними.

Практичний досвід свідчить про доцільність статистичного дослідження щодо взаємозв'язків рівнів споживання ЕЕ та видобутком (виробництвом), водопритоком, потужністю, горизонтом добутку руди – всі складові деякою мірою опосередковано впливають на споживання ЕЕ. Для тісноти значення тісноти взаємозв'язку та найбільш впливових факторів проведено кореляційний аналіз. В табл.6-10 представлені кореляційні матриці.

Таблиця 6

	ЕЕ	Доб. руди	Водоприток	Горизонт	Потужність
ЕЕ	1				
Доб. руди	-0,14768	1			
Водоприток	0,283797	-0,9758175	1		
Горизонт	-0,76867	0,7242001	-0,7853998	1	
Потужність	0,342595	-0,8599235	0,94389385	-0,719476	1

Аналіз таблиці свідчить про практичну відсутність зв'язку (за шкалою Чедока) між споживанням ЕЕ та водопритоком і потужністю працюючих приладів. Існує зворотній зв'язок між споживанням ЕЕ та горизонтом добути руди. Виділяється прямий щільний зв'язок між водопритоком та потужністю працюючих приладів.

Таблиця 7

	ЕЕ	Доб. руди	Водоприток	Горизонт	Потужність
ЕЕ	1				
Доб. руди	0,821895	1			
Водоприток	0,424589	0,0499782	1		
Горизонт	-0,66935	-0,8259131	0,04784194	1	
Потужність	-0,07854	-0,212104	0,61560654	-0,076078	1

Згідно шкали Чедока високий зв'язок існує між споживанням ЕЕ та потужністю працюючих приладів. Посередній від'ємний зв'язок між горизонтом видобутку руди. На відміну від показників для ш. Жовтневої, зв'язок між горизонтом видобутку руди і потужністю працюючих приладів має від'ємний високий.

Таблиця 8

	ЕЕ	Доб. руди	Водоприток	Горизонт	Потужність
ЕЕ	1				
Доб. руди	0,47974	1			
Водоприток	0,292557	0,0875833	1		
Горизонт	-0,59608	0,3324652	-0,0692687	1	
Потужність	-0,02107	-0,7659554	0,35482889	-0,580573	1

Аналіз отриманих розрахунків свідчить (за шкалою Чедока) про посередню від'ємну залежність споживання ЕЕ і між горизонтом видобутку руди та високим від'ємним зв'язком між потужністю працюючих приладів і добутом руди.

Таблиця 9

	ЕЕ	Доб. руди	Водоприток	Горизонт	Потужність
ЕЕ	1				
Доб. руди	0,284702	1			
Водоприток	0,708279	-0,0116879	1		
Горизонт	-0,74971	0,3921712	-0,5690406	1	
Потужність	0,533341	-0,0312306	0,51613995	-0,548353	1

Якісна інтерпретація отриманих кількісних показників зв'язку за шкалою Чедока, наведених у табл. 9, свідчить про високий зв'язок між водопритоком і споживанням ЕЕ, від'ємний помірний зв'язок між водопритоком і горизонтом добутом руди; помірним позитивним зв'язком між водопритоком і потужністю працюючих приладів.

Відповідні розрахунки кореляційних матриць наведені в табл. 10-13.

Таблиця 10

	ш. «Жовтнева»	Ск.ПУ	Вентиляція	Водовідлив	ДСФ
ш. «Жовтнева»	1				
Ск.ПУ	0,032259	1			
Вентиляція	0,752161	0,292851	1		
Водовідлив	-0,35377	-0,40116	-0,77032	1	
ДСФ	-0,27105	-0,25033	-0,47573	0,113725	1

Аналіз даних свідчить про позитивний зв'язок сильний зв'язок (шкала Чедока) між споживанням ЕЕ і вентиляційними установками та від'ємний сильний зв'язок (шкала Чедока) між водовідливними і вентиляційними установками.

Таблиця 11

	ш. «Родіна»	Ск.ПУ	Вентиляція	Водовідлив	ДСФ
ш. «Родіна»	1				
Ск.ПУ	-0,4557	1			
Вентиляція	-0,30339	0,906985	1		
Водовідлив	-0,33141	0,95278	0,866304	1	
ДСФ	-0,4143	0,89958	0,869657	0,751343	1

На відміну від показників для ш. Жовтнева, існує сильний позитивний зв'язок між складовими Ск. ПУ та вентиляційними, водовідливними установками та ДСФ, а також між водовідливними та вентиляційними установками, між ДСФ і водовідливними, вентиляційними установками (шкала Чедока).

Таблиця 12

	ш. «Гвардійська»	Ск.ПУ	Вентиляція	Водовідлив	ДСФ
ш. «Гвардійська»	1				
Ск.ПУ	-0,15685	1			
Вентиляція	-0,14746	-0,21802	1		
Водовідлив	-0,41734	-0,33417	-0,26405	1	
ДСФ	-0,14641	0,960502	0,037664	-0,49289	1

Відповідно шкали Чедока, взаємозв'язок між ДСФ і Ск.ПУ є сильний позитивний. Для других складових зв'язок можна вважати незначним.

Таблиця 13

Кореляційна матриця взаємозв'язку складових споживання ЕЕ для ш. «Терновська»

	ш. «Терновська»	Ск.ПУ	Вентиляція	Водовідлив	ДСФ
ш. «Терновська»	1				
Ск.ПУ	-0,13965	1			
Вентиляція	0,199124	0,357352	1		
Водовідлив	-0,07061	0,357828	-0,31625	1	
ДСФ	-0,6515	0,371537	0,329419	0,334837	1

Для означених даних зв'язок між ДСФ і споживанням ЕЕ вважається від'ємним помірний за школою Чедока.

Слід зазначити, що не існує можливості сформулювати узагальнюючий висновок щодо кількісного та якісного опису взаємозв'язку між показниками складових електроспоживання для залізрудних підприємств Криворізького регіону.

Таким чином, відсутність універсальності відбиває доцільність побудови регресійних моделей для кожного залізрудного підприємства (табл. 14).

Проведений аналіз щодо нормальності розподілу складових споживання ЕЕ свідчить про доцільність проведення кореляційного аналізу між складовими ряду залізрудних підприємств України з метою побудови регресійних моделей.

Таблиця 14

Регресійні моделі залізрудних підприємств

Підприємство	Модель	R ²
ш. «Терновська»	$Y=2700843+0.483x_1+0.309x_2-528.973x_3-39.855x_4$	0,99
ш. «Гвардійська»	$Y=1955439+1.06x_1+0.138x_2-263.528x_3+4.215x_4$	0,9
ш. «Родіна»	$Y=6715359+0.019x_1+0.122x_2-386.103x_3-1387.24x_4$	0,94
ш. «Жовтнева»	$Y=1568560+1.55x_1+0.25x_2-686.033x_3+218.53x_4$	0,97

Примітка. x_1 – доб.руди, x_2 – водоприток, x_3 – горизонт, x_4 – потужність

Висновки та напрямок подальших досліджень. Аналіз отриманих результатів дозволяє зазначити наступне:

для ш. «Тернівська», ш. «Жовтнева» та ш. «Гвардійська» найбільший вплив на споживання ЕЕ здійснює рівень глибини горизонту, де здійснюється видобуток ЗРС, найменший вплив – параметр водопритоку;

для ш. «Родіна» найбільший вплив на споживання ЕЕ здійснює електрична потужність механізмів, що функціонують в технології видобутку ЗРС;

для всіх отриманих моделей коефіцієнт детермінації складає більше ніж 0,9.

Результати оцінювання впливових вагових формування електроенерговитрат на видобуток ЗРС дають змогу диференціювати підходи до конструювання алгоритму керування рівнями електроспоживання, згідно техніко-технологічних умов, кожною окремо взятою копальнею.

Список літератури

1. **Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П.** та ін. Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року // К.: Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. 275 с.
2. **Шидловський, А.К.** Геоелектроенергетика України Навчальний посібник. [Текст] / **А.К. Шидловський, Г.Г. Півняк, М.В. Рогоза, С.І. Випанасенко.** – Д.: Національний гірничий університет, 2002. – 282 с. – ISBN 978-966-350-086-7.
3. **Бабець Є. С., Мельникова І. Є., Гребенюк С. Я., Любов С. П.;** за ред. Є. С. Бабця Дослідження техніко-економічних показників гірничодобувних підприємств України та ефективності їх роботи в умовах змінної кон'юнктури світового ринку залізрудної сировини / Монографія; НДГРІ ДВНЗ «КНУ». Кривий Ріг: вид. Р. А. Козлов, 2015. 391 с.
4. **Sinchuk, O.M. Boiko, S.M. Karamanyts, F.I. Kozakevych, I.A. Baranovska, M.L. Yalova, A.M.** (2018) Aspects of the problem of applying distributed energy in iron ore enterprises electricity supply SYSTEMS. IsIENCT, Warsaw, Poland.
5. **Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В.** Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий. М.: Недра, 1986, 232 с.
6. **Sinchuk, I.O.** (2018) Harmonization of system for assessing the electric- power consumption levels at mining enterprise. Mining of mineral deposits 12(4) 100-107.
7. **Alexandra von Meier.** Electric power systems a conceptual introduction. IEEE press 2006-309 pp.
8. **Jiang S., Lian M., Lu C., Ma Q.** Optimization research of mine production energy control system based on synergy theory. Paper AsiaVolume 2018, Issue Compendium3, 2018, Pages 48-52.

9. A.J.H. Nel, J.C. Vosloo, M.J. Mathews. Financial model for energy efficiency projects in the mining industry. Energy Volume 163, 15 November 2018, Pages 546-554. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018-08-154>

10. Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg. Power Generation and Control. 2014-620 pp.

11. Steven W. Blume. Electric Power System Basics for the Nonelectrical Professional. IEEE press Series on Engineering. 2017-231 pp.

12. Щуцкий В.И., Ляхомский А.В. Егоров Д.А. Повышение точности определения расчетных нагрузок электроустановок полиметаллических рудников / Изв. ВУЗов Электромеханика, 1989, №3, С. 109-112.

Рукопис подано до редакції 08.04.2019

УДК 681.5.08

М. В. КІЯНОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., О. Р. ІВАНОВА, магістрант
Криворізький національний університет

РОЗРОБКА ТА КОНСТРУКТИВНА РЕАЛІЗАЦІЯ ФУНКЦІЇ СИЛОВИМІРЮВАННЯ В КОНСТРУКЦІЯХ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ

Мета. Метою даної роботи є підвищення надійності закріплення заготовок при їх механічній обробці за рахунок ретельного аналізу існуючих конструкцій технологічного оснащення з можливістю інструментального контролю параметрів закріплення заготовок.

Методи дослідження. Результати роботи отримані шляхом теоретичних досліджень. Теоретичні дослідження полягають у синтезі методів силовимірювання в конструкціях технологічного оснащення, основних факторів, які впливають на сили затиску в затискних механізмах.

Наукова новизна. Було визначено, що на сьогоднішній день не існує конструкції технологічного оснащення, яка в повній мірі реалізувала контроль силовимірювання. Тому дане питання потребує нових теоретичних і експериментальних досліджень при створенні принципово нових конструкцій затискних механізмів, які зможуть реалізувати контроль параметри закріплення заготовок і не допускати негативних явищ закріплення.

Практичне значення. Виконаний аналіз конструкцій технологічного оснащення дає можливість визначення напрямків модернізації та вдосконалення засобів виробництва на базі застосування новітніх досягнень розробок.

Результати. В результаті проведеного аналізу було визначено, що задачі інструментального контролю параметрів закріплення заготовок при їх механічній обробці запобігають негативним явищам закріплення. При недостатньому закріпленні заготовки можливий її зрив під дією сил різання, і як наслідок пошкодження заготовки, інструмента та верстатного пристосування. Надмірне закріплення заготовки приводить до пошкодження її поверхонь. При відсутності контролю параметрів закріплення формоутворення заготовок супроводжується дефектами конструктивних елементів, що утворюють неявно виражені технологічні бази, що викликають високу трудомісткість і помилки допоміжних операцій технологічного базування заготовок в засобах технологічного оснащення, і як наслідок, брак виготовлення деталей. Слід зазначити, що при затиску не повинно порушуватися положення заготовки, досягнуте базуванням. Це задовольняється раціональним вибором напрямку і точки прикладання сили затиску. Визначено недоліки існуючих конструкцій технологічного оснащення та неможливість визначення та контролю затискних сил. Аналіз закономірностей, що впливають на точність і продуктивність виконуваних операцій, дозволяють проектувати пристосування, що інтенсифікують виробництво і підвищують його точність.

Ключові слова: аналіз, силовимірювання, технологічне оснащення, затискний пристрій, сила затиску заготовки, контроль.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-138-142

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. В умовах серійного і дрібносерійного виробництва однією з важливих народногосподарських задач є технічне і технологічне переозброєння машинобудування, подальше розширення технологічних можливостей, підвищення продуктивності, точності, надійності і довговічності верстатів. Це можливе за рахунок удосконалення вузлів, механізмів і технологічного оснащення верстатів.

Задача інструментального контролю параметрів закріплення заготовок при їх механічній обробці одна з найважливіших питань в машинобудуванні. Відсутність інструментального контролю параметрів закріплення заготовок при їх механічній обробці приводить до негативних явищ закріплення, а саме: похибки закріплення, пошкоджень поверхні, до яких прикладені сили закріплення та можливі пружні деформації заготовки.

При недостатньому закріпленні заготовки можливий її зрив під дією сил різання, і як наслідок пошкодження заготовки, інструмента та верстатного пристосування. Надмірне закріплення заготовки приводить до пошкодження її поверхонь.

При відсутності контролю параметрів закріплення формоутворення заготовок супроводжується дефектами конструктивних елементів, що утворюють неявно виражені технологічні бази, що викликають високу трудомісткість і помилки допоміжних операцій технологічного базування заготовок в засобах технологічного оснащення, і як наслідок, брак виготовлення деталей.

Слід зазначити, що при затиску не повинно порушуватися положення заготовки, досягнуте базуванням. Це задовольняється раціональним вибором напрямку і точки прикладання сили затиску.

Затиск не повинен викликати деформації заготовок або псування (зминання) їх поверхонь, що закріплюються в пристосуванні. Сила затиску повинна бути мінімально необхідною, але достатньою для забезпечення надійного положення заготовки щодо настановних елементів пристосувань в процесі обробки.

Це потребує нових теоретичних і експериментальних досліджень при створенні принципово нових конструкцій затискних механізмів, які здібні контролювати параметри закріплення заготовок і не допускати негативних явищ закріплення.

Аналіз досліджень і публікацій. У широко поширеній літературі [1, 2, 3] при проектуванні верстатних пристосувань досить скрупульозно аналізуються деформації, що виникають в контакті заготовки з опорними елементами і мають вплив на погрішність установки, але при цьому використовується спрощений підхід до розрахунку потрібної сили затиску, що викликає ці деформації. Він виражається в розгляді такої ж спрощеної системи сил, що діють на абсолютно тверде тіло простої геометричної форми, знаходженні шуканих реакцій, в якості яких можуть бути сили затиску, і виборі найбільшої за величиною сили з будь-якого рівняння рівноваги. Також зовсім не пропонуються методи або засоби контролю сили затиску заготовки.

Постановка завдання. В спеціальній літературі практично відсутня структурована інформація про особливості контролю параметрів закріплення [7-10]. Таким чином, метою даної роботи є аналіз та вдосконалення технології закріплення заготовок, а саме - дослідження та наукове обґрунтування необхідності контролю параметрів закріплення заготовок для підвищення продуктивності обробки, забезпечення необхідної якості та точності оброблюваної поверхні.

Сформульована мета роботи обумовила необхідність дослідження існуючих методів закріплення заготовок з аналізом можливості їх контролю.

Виклад матеріалу і результати. Сучасний етап розвитку машинобудування характерний швидким зростанням випуску нових видів продукції. Заміна моделей виробів машинобудівного виробництва відбувається значно швидше, ніж 10-15 років назад. Зміна моделей верстатів на передовому сучасному виробництві відбувається в середньому через 6-8 років. Це стосується не тільки універсальних верстатів, а й спеціалізованих верстатів з ЧПК. Відповідно скорочується і цикл виробництва нових виробів, а це, як правило, вимагає іншого підходу по створенню нових пристосувань з використанням автоматизованого проектування, так як значні трудові та матеріальні витрати на технологічне оснащення впливають на продуктивність праці.

Аналіз технологічних потреб машинобудівних підприємств показує, що в більшості випадків одночасно необхідна оснастка для обробки заготовок в умовах різної серійності виробництва, що мають різноманітні габаритні розміри, різні вимоги по точності і шорсткості та т.ін.

Технологічне оснащення (ТО) використовується на різному технологічному обладнанні: металорізальних верстатах, пресах, вимірювальних машинах, автоматичних лініях і ін.

Застосування різного виду технологічного оснащення не тільки забезпечує, а й розширює технологічні можливості всіх видів верстатів (універсальних, ЧПК і інших), але в основному це стосується універсальних верстатів, якими оснащені заводи серійного виробництва [5].

Залежно від джерела сили, необхідної для затиску деталі, затискні пристрої поділяються на ручні, механізовані і автоматизовані.

Ручні затискні пристрої пускає в хід безпосередньо робочий за рахунок мускульної сили. Конструкції з ручним затиском є найбільш ненадійними. При використанні такого оснащення сила затиску контролюється, у кращому випадку, звичайним динамометром. Недоліком динамометра є тертя в шарнірі, яке призводить до зростання варіації показань і відповідно до зниження точності вимірювання сили [4].

Механізовані затискні пристрої працюють від пневматичного, гідравлічного або іншого приводу. Автоматизовані пристрої переміщуються від рухомих вузлів верстата, шпинделя, су-

порта або патронів з кулачками, на які діють відцентрові сили обертових вантажів патрона. При цьому затиск і розкріплення деталі здійснюються без участі робітника.

Пневматичні приводи в порівнянні з приводами інших типів відрізняються високою швидкістю і забезпечують регулювання силових параметрів затиску заготовки лише на першій ланцюгу ланці силового ланцюга, зручні в напрямку і не вимагають докладання великих фізичних зусиль.

На рис.1 показаний токарний патрон з обертовим пневмоприводом, який дозволяє автоматизувати закріплення заготовки.

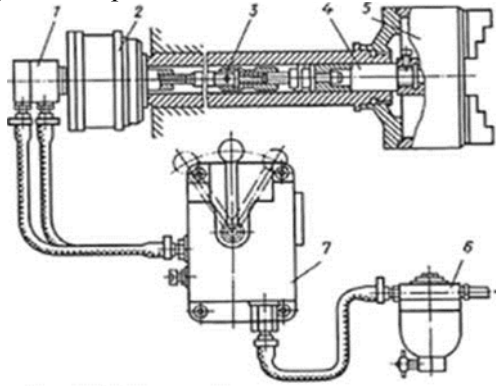


Рис. 1. Токарний патрон з пневмоприводом

Патрон 5 пов'язаний з пневмоцилиндром 2 тягою 4 з муфтою 3, які розміщені всередині шпинделя верстата. Стиснене повітря з магістралі через вологовідділювач і кран управління 7 подається через нерухому муфту 1 в передню або задню порожнину пневмоциліндра 2, що обертається разом зі шпинделем верстата. Переміщення поршня зі штоком і пов'язані з ним муфта 3 і тяга 4 пускає в хід кулачки патрона.

Контроль сили затиску в даному механізмі здійснюється шляхом визначення параметрів та

об'єму стисненого повітря.

Гідравлічні приводи за принципом роботи аналогічні пневматичним приводам, але в порівнянні з ними вони мають ряд переваг: створюють великі зусилля при відносно невеликих габаритних розмірах гідроциліндрів, більш стійкі до мінливих навантажень на деталь в процесі обробки. Однак приводи більш трудомісткі в експлуатації, для них необхідно мати більш герметичні ущільнення, систему збору та відведення витоків і ін.

На рис. 2 показаний лопатевий гідроциліндр, який встановлюється на іншому кінці шпинделя і обертається разом з ним. Масло подається в лопатевий гідроциліндр, закритий кожухом 8, через нерухому муфту 5, змонтовану на валу 6 на шарикопідшипниках, і надходить в корпус 1, приводячи в рух лопать 4 (між кришками 7 і 10 до упору 2, пов'язану з ротором 3) Ротор 3 жорстко з'єднаний з тайкою 9, яка обертається в корпусі на роликотидшипниках 13 і змушує гвинт 11 переміщатися уздовж осі шпинделя, гвинт 11 через тягу 12 зводить або розводить кулачки патрона для закріплення і звільнення оброблюваної заготовки.

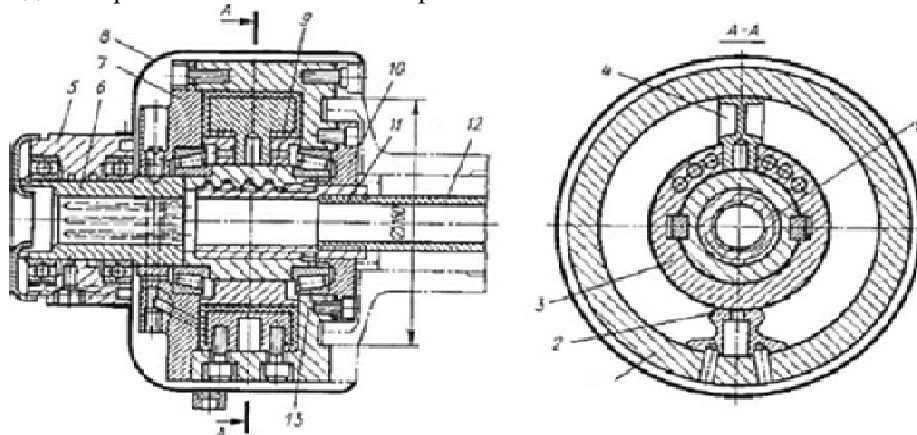


Рис. 2. Лопатевий гідропривід

Контроль сили затиску в даному механізмі здійснюється шляхом визначення параметрів тиску, витрат масла, що подається до приводу.

Електромеханічні приводи влаштовані значно простіше пневмо- і гідроприводів і більш зручні в експлуатації. До складу електромеханічного приводу входять електродвигун, передавальний механізм і електрична система управління електродвигуном.

На рис. 3 показаний токарний патрон з електромеханічним приводом.

При аналізі існуючих методів та засобів контролю силоімірювання в конструкціях технологічного оснащення було зроблено висновок, що на сьогоднішній день не існує приладу, що в повній мірі контролював би силу затиску заготовки. Дане питання потребує нових теоретичних і експериментальних досліджень при створенні принципово нових конструкцій затискних механізмів, які зможуть контролювати параметри закріплення заготовок і не допускати негативних явищ закріплення.

Тому створення прогресивного затискного оснащення, в тому числі механічних лещат з можливістю контролю затиску заготовки і розробка методів їх проектування є напрямком подальших досліджень даної роботи.

Список літератури

1. Довідник технолога-машинобудівника: У 2-т. Т. 2 [під ред. А.М. Дальського, А.Г. Сулова, А.Г. Косилової, Р.К. Мещерякова]. М.: Машинобудування-1, 2003. 944 с.
2. Верстатні пристосування: Довідник. У 2-х т. Т.1 [під ред. Б.М. Вардашкіна, А.А. Шатілова]. М.: Машинобудування, 1984. – 592 с.
3. Кузнецов Ю.И. Основи інженерного проектування оснащення для гнучких виробничих систем: Конструювання і розрахунок. Навчальний посібник. М.: ВНИИТЕМП, 1986. 71 с.
4. ГОСТ 3.1107-81. ЕСТД. Опори, затискачі та установчі пристрої. Графічні зображення. М.: Видавництво стандартів, 1982. 9 с.
5. Обертові інструменти: Фрезерування, свердління, глибоке свердління, розточування:Каталог. М.: ВАТ «Сандвик МКТС», 2015.
6. Кургузов Ю.І., Колбасов М.О. особливості розрахунку сили затиску заготовок в трикулачкових патронах з урахуванням згинальних навантажень // Високі технології в машинобудуванні: матеріали Всерос. наук.-техн. інтернет-конф. Самара: Самар. держ. тех. ун-т, 2014. С. 49 - 51.
7. Проектування технологічного оснащення машинобудівного виробництва / Под ред. Ю.М. Соломенцева.- М.: Вища. шк., 1999 - 415с. 4
8. М.А. Ансеров. Пристосування для металорізальних станков.- Л.: Машинобудування, 1975 - 65с.
9. Проектування і застосування технологічної оснастки в машинобудуванні: навчальний посібник А.П. Чурбанов, А.Б. Ефременков; Юргінській технологічний інститут. - Томськ: Видавництво Томського політехнічного університету, 2010. - 316 с.
10. Схиртладзе Олександр Георгійович. Технологічне оснащення машинобудівних виробництв: навчальний посібник / А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. - Старий Оскол: ТНТ, 2008.

Рукопис подано до редакції 08.04.2019

УДК 622.274.3:622.224

С.В. ПИСЬМЕННИЙ, канд.техн.наук, Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОГО ПРОГОНУ ОГОЛЕННЯ ПРИ РОЗРОБЦІ СКЛАДНОСТРУКТУРНИХ РУДНИХ ПОКЛАДІВ КАМЕРНОЮ СИСТЕМОЮ РОЗРОБКИ

Мета. Метою виконаних досліджень є обґрунтування стійких параметрів конструктивних елементів камерної системи при розробці складноструктурних рудних покладів, яка дозволить підвищити показники вилучення рудної маси за рахунок селективного виймання.

Методи досліджені. Існуюча методика, яка застосовується на шахтах Кривбасу для визначення конструктивних елементів камерної системи розробки, при розрахунку прольоту оголення не враховує потужність налягаючої товщі порід зі сторони висячого боку очисної камери. Тому, необхідно розробити методику з визначення конструктивних елементів камерних систем розробки при відпрацюванні складноструктурних рудних покладів, для забезпечення стійкості оголень очисним камерам.

Наукова новизна. При відпрацюванні виймального блоку запропоновано очисні роботи здійснювати послідовно від висячого до лежачого боку складноструктурного рудного покладу камерною системою розробки, з залишенням в блоці безрудного або рудного включення. Даний порядок очисних робіт дозволить зменшити концентрацію розтягуючих та стискаючих напружень в середній частині безрудного або рудного включення, що сприяє підвищенню його стійкості в 1,5–2,0 рази.

Практична значимість. Впровадження ресурсозберігаючої технології необхідно здійснювати на першому етапі, який безпосередньо пов'язаний з видобутком руди та впливає на вміст заліза в видобутій рудній масі. Підвищити вміст заліза в видобутій рудній масі можливо за рахунок застосування селективної розробки виймальних блоків камерними системами розробки.

Результати. Встановлено, що на стійкість очисної камери, окрім її розмірів та фізико-механічних властивостей

руди, впливають горизонтальна потужність включення, коефіцієнт тривкості, час його існування та порядок очисних робіт у виймальному блоці. Тому при коефіцієнті тривкості порід безрудного включення меншим за 10–12 доцільно застосовувати підповерхово-камерний варіант системи в іншому випадку поверхово-камерний варіант системи розробки.

Ключові слова: підземна розробка, залізна руда, напруження, стійкість, камерна система розробки

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-142-149

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Розвіданих запасів залізних руд на території України нараховується близько 76 млрд. т, що складає 18 % від світових запасів. Майже третина їх зосереджена в Криворізькому залізорудному басейні. У геологічному і гірничому контексті Криворізький залізорудний басейн являє собою складноструктурне родовище, складене поодинокими, паралельно-зближеними покладами та відокремленими гніздами з вмістом корисного компоненту в масиві від 10–37 % до 58–67 %, [1, 2]. На окремих ділянках рудних покладів зустрічаються безрудні чи рудні включення (БРВ) з вмістом корисного компоненту значно меншим за бортовий відносно рудного масиву, що розробляється. Кількість запасів безрудних чи рудних включень з вмістом корисного компоненту меншим ніж бортовий від загального обсягу родовища, табл. 1. становить для багатих руд 5–12 %, а бідних руд 10–15%.

Відробка родовищ представлених складноструктурними рудними покладами (ССРП) підземним способом традиційними системами розробки призводить до зменшення вмісту заліза у видобутій руді на 3–6 % відносно основного вмісту корисного компоненту в рудному масиві. Зі збільшенням вмісту заліза у видобутій рудній масі в 1,5–2,0 рази збільшуються втрати руди, що призводить до зменшення ефективності відпрацювання, а як наслідок, до втрат світового ринку збуту.

Підвищити ефективність процесів збагачення, зменшити собівартість видобутку та збільшити світовий ринок збуту при відпрацюванні складноструктурних рудних покладів підземним способом можна за рахунок розробки ресурсозберігаючих технологій та впровадження їх у виробництво [3-5].

Таким чином, розробка ресурсозберігаючих технологій, які дозволять ефективно відпрацьовувати складноструктурні рудні поклада Криворізького залізорудного басейну є вельми актуальним. При цьому слід зауважити, що модернізацію технологічних процесів необхідно починати з першого етапу виробництва (руйнування масиву, випуску та доставки рудної маси), що дозволить значно покращити техніко-економічні показники видобутку та переробки.

Аналіз досліджень і публікацій. Відпрацюванню складноструктурних родовищ присвячено ряд досліджень спрямованих на встановлення залежностей показників вилучення від прояву гірничого тиску, черговості виїмки та визначенню раціональних значень параметрів основних конструктивних елементів систем розробки [4-7].

Доведено, що на ефективність відпрацювання запасів родовища впливають гірничо-геологічні та гірничотехнічні умови. До основних факторів успішного відпрацювання ССРП слід віднести: порядок очисного виймання, гірничий тиск, інтенсивність робіт, кількість і стійкість ціликів, висота поверху, взаємне розташування камер і ціликів в покладах основного просягання.

На руднику Кіруна (Швеція) при вирішенні питання ефективної розробки родовища підземним способом було запропоновано розділяти рудну масу за вмістом заліза на першому етапі в підземних умовах [8]. Для цього була збудована необхідна кількість головних розкривних виробок. Однак, у зв'язку з технологічними особливостями підземної розробки родовищ Криворізького залізорудного басейну їх впровадження призведе до значного збільшення собівартості видобутку.

Досвід роботи шахт Криворізького басейну довів, що на ефективність відпрацювання складноструктурних родовищ впливає порядок очисного виймання, потужність та міцність проміжної товщі (безрудного включення), система розробки [3, 4, 9]. При відпрацюванні ССРП камерними системами розробки з залишенням ціликів, кількість ціликів повинна бути мінімальною, так як вони служать концентраторами напружень та ускладнюють умови подальшої розробки родовища. Визначаючи зони зрушення і зони розвантаження при відпрацюванні паралельних тіл, доведено, що гірничий тиск у вмісних породах всякого боку значно нижче, ніж у підстиляючих породах лежачого боку [10-12].

В роботах [13-16] встановлено, що випереджувальна виїмка пластів всякого боку знижує гірничий тиск в пластах основного простягання. Такі суперечливі висновки про послідовність ведення очисних робіт виникли в наслідок того, що зазначені дослідження проводилися в неоднакових умовах і на різних глибинах. Автори роботи [11] виділили різні зони зміни гірничого тиску, що обумовлені випереджувальним відпрацюванням одного з пластів, а також тимчасовим відставанням робіт і їх просторово-взаємним розташуванням.

Опорний тиск у гірських породах за простяганням розподіляється нерівномірно, а зосереджується на флангах виробленого простору. В результаті цього в породах розташованих між покладами, виникають зони розвантаження та зони концентрації напружень [17-19]. Зменшити концентрацію напружень можна за рахунок валового виймання, при цьому необхідно контролювати якість рудної сировини.

Таким чином, виникає необхідність в удосконаленні ресурсозберігаючої технології при відпрацюванні ССРП, яка забезпечить не тільки збільшення вмісту заліза у видобутій рудній масі але й дозволить підвищити стійкість очисних камер. Тому, необхідно визначити як впливають розміри безрудного чи рудного включення на конструктивні елементи камерної системи розробки.

Постановка задачі. Метою виконаних досліджень є обґрунтування стійких параметрів конструктивних елементів камерної системи при розробці складноструктурних рудних покладів, яка дозволить підвищити показники вилучення рудної маси за рахунок селективного виймання.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити максимально-допустимий стійкий проліт оголення очисної камери в залежності від конструктивних елементів камерної системи розробки та потужності безрудних або рудних включень при селективній розробці складноструктурних рудних покладів.

Викладення матеріалу та результати. Вирішення багатьох питань, пов'язаних з освоєнням надр та вивченням геологічного і тектонічного розвитку земної кори, базуються за результатами експериментальних досліджень напруженого стану масиву гірських порід. Дані дослідження обумовлені порушенням масиву підземними гірничими роботами, наслідком чого є техногенні катастрофи геомеханічного характеру, які носять як позитивний, так і негативний характер.

При визначенні стійкості ціликів в багатьох випадках у гірничій справі його розглядають як затиснену балку, а для забезпечення стійкості максимальні напруження повинні відповідати умові

$$\sigma_{max} \leq [\sigma], \tau_{max} \leq [\tau], \sigma \gg \tau, \quad (1)$$

де $[\sigma]$ – межа міцності матеріалу, H/m^2 , (т/м^2) ; $[\tau]$ – допустимі дотичні напруження, H/m^2 , (т/м^2) .

Автори робіт [5, 10-12] стверджують, що при розрахунку стійкості ціликів основним критерієм є вигін, однак в гірських породах під дією тиску утворюється зона тріщин. Тому, при визначенні максимально-допустимих напружень, які призводять до зниження межі міцності цілика складеного гірськими породами, необхідно враховувати структуру масиву та час його існування. При підземній розробці рудних родовищ у більшості випадків цілики мають прямокутну форму, тому найбільш небезпечним є середня частина прольоту оголення, а максимальні напруження визначаються за формулою

$$\sigma_{max} = \frac{M_x}{W_x} \leq [\sigma], \quad (2)$$

де M_x – значення максимального згинального моменту в z частині прогону оголення БРВ по вісі x , т/м ; W_x – момент опору цілика;

Слід зазначити, що прогин є основним компонентом вектору переміщення точок в породах гірського масиву тому величина прогину мала в порівнянні з товщиною цілика, тобто $w \ll h$.

Максимальні напруження, що виникають в цілику представленого як затиснена балка визначаються за виразом

$$\sigma_{max} = 6 \times M_x / (l \times m_{БРВ}^2), \quad (3)$$

де l – прольот оголення (довжина цілика), м ; $m_{БРВ}$ – нормальна потужність (товщина цілика), м .

Дослідженнями [6, 13, 17] було доведено, що не всі прямокутні тіла при розрахунках максимальних напружень можна розглядати як затиснену балку. У випадку, коли товщина цілика

значно менша за його довжину, задоцільно цілік розглядати, як тонку жорстку пластинку, а не як затиснену балку.

Згідно з першим та другим припущеннями Кірхгофа та формулами Коши отримаємо вирази для визначення компонентів тензора напружень σ_x , σ_y , τ_{xy} в пластині через функцію прогину w в середній її площині

$$\sigma_x = -\frac{E \times z}{1 - \mu^2} \times \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right); \sigma_y = -\frac{E \times z}{1 - \mu^2} \times \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right); \tau_{xy} = -\frac{E \times z}{1 + \mu^2} \times \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}, \quad (4)$$

де E – модуль Юнга; μ – коефіцієнт Пуассона.

Виконавши відповідні перетворення виразів (5) отримаємо умови стійкості БРВ при максимальних напруженнях в середній його частині

$$\sigma_x = 6 \times M_x / m_{БРВ}^2 \leq [\sigma]; \sigma_y = 6 \times M_y / m_{БРВ}^2 \leq [\sigma]; \tau_{xy} = 6 \times H / m_{БРВ}^2 \leq [\tau], \quad (5)$$

де H – глибина гірничих робіт, м.

Розглянемо технологічні процеси при розробці рудних покладів підземним способом. Родовища Криворізького залізорудного басейну традиційно відпрацьовуються від лежачого до висячого боку. Згідно виконаного аналізу встановлено, що при розробці складноструктурних рудних покладів підземним способом доцільно розробку здійснювати від висячого до лежачого боку [6, 7]. Однак, при розробці ССРП гірничі роботи необхідно здійснювати від висячого до лежачого боку. Розглянемо, як змінюється технологія видобутку при селективній розробці ССРП з відпрацюванням від висячого до лежачого боку камерною системою розробки.

Технологія, що пропонується передбачає певний порядок ведення гірничих робіт в залежності від гірничо-геологічних умов ССРП, при цьому відробка очисного блоку здійснюється в дві стадії, рис. 1: *I стадія* – виймання руди здійснюється спочатку у висячого боку із залишенням безрудного включення в очисному блоці у якості цілика; *II стадія* – виймання з блоку решти руди у лежачого боку в залежності від порядку та черговості гірничих робіт.

Для отримання високих показників вилучення видобутої рудної маси при застосуванні камерної системи розробки необхідно забезпечити стійкість цілика, оголенням та БРВ на весь час відпрацювання очисних блоків. Отже в залежності від стадії та порядку ведення гірничих робіт у виймальному блоці на БРВ будуть діяти різні навантаження. В залежності від дії навантажень на БРВ, в масиві формується поле розтягувальних або стискаючих зусиль [2, 7].

З теорії опору матеріалів відомо, якщо зразок рівномірно навантажувати в часі, в ньому зростають нормальні напруження до межі міцності матеріалу на стискання. Таким чином, з метою збереження цілісності БРВ, який представляє собою міжкамерний цілік під час ведення очисних робіт в блоці, необхідно виконання наступної умови

$$\sigma \leq \sigma_k \cong [\sigma_{cm}], \varepsilon = 0, \quad (6)$$

де σ – нормальні напруження МПа; σ_k – критичні напруження МПа; $[\sigma_{cm}]$ – межа міцності порід на стискання МПа; ε – лінійні деформації.

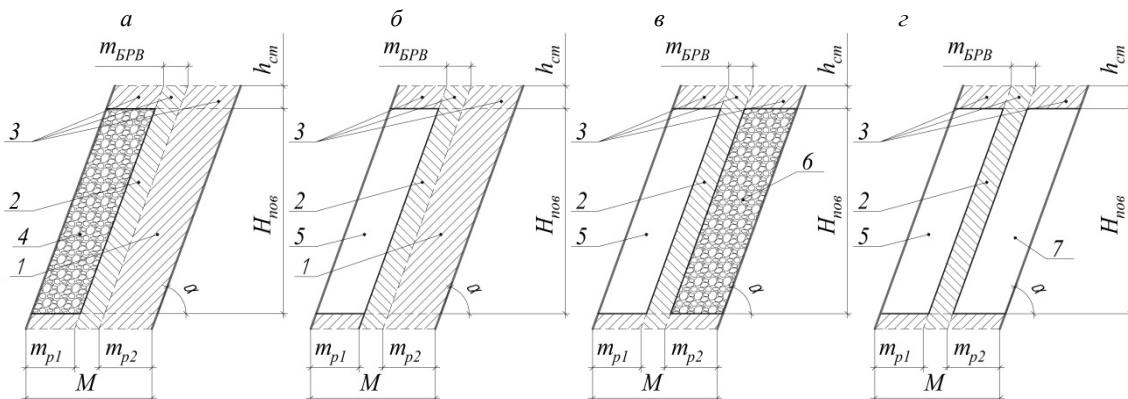


Рис. 1. Принципова схема відпрацювання складно-структурних рудних покладів в стійких рудах камерними системами розробки: *а* – розподіл виймального блоку на очисні панелі першої та другої черги та випуском подрібненої руди з першої панелі; *б* – кінцева стадія відпрацювання першої панелі; *в* – випуск подрібненої руди з другої панелі; *г* – кінцева стадія відпрацювання запасів виймального блоку; 1 – рудний масив; 2 – безрудне чи рудне включення; 3 – стелина; 4, 6 – обвалений рудний масив; 5, 7 – очисна камера відповідно у висячого та лежачого боку

У випадку, коли на цілик протягом часу діють стискаючі та розтягуючі напруження, нормальні напруження в БРВ спочатку збільшуються, а потім зменшуються. При повторному навантаженні в цілику виникають лінійні деформації, що значно зменшують межу міцності порід на стискання. Тому при зменшенні навантаження, нормальні напруження не досягають межі міцності порід, що призводить до руйнування цілика, а граничні умови мають вид

$$\sigma \ll \sigma_k \cong \sigma_e \ll [\sigma_{cm}], \varepsilon \neq 0. \quad (7)$$

З урахуванням вищезазначеного необхідно визначити параметри конструктивних елементів камерної системи розробки при відпрацюванні очисного блоку від висячого до лежачого боків з забезпеченням стійкості безрудного чи рудного включення. Таким чином, коли очисний блок представлений складноструктурним рудним для отримання високих показників вилучення доцільно застосовувати селективне виймання запасів руди [3, 7]. Селективна розробка очисного блоку від традиційної відрізняється тим, що запаси руди вилучаються в дві стадії, рис. 1.

Перша стадія передбачає виймання запасів у висячого боку покладу з розмірами конструктивних елементів визначених за методикою [20] формуючи очисну камеру 1. Слід зазначити, що згідно з методики [20] ширина (потужність) безрудного чи рудного включення не впливає на параметри очисної камери першої черги.

Після випуску обваленої руди з першої очисної камери, міжкамерні рудні цілики та стелі на даній стадії не обвалюються. Тому, при визначенні часу існування оголення та ціликів в розрахунок необхідно приймати сумарний час на відпрацювання очисного блоку (враховуючи другу стадію).

Конструктивні елементи очисної камери 2 визначити за методикою [20] не можливо, тому що при розрахунку еквівалентного прольоту оголення не враховується потужність безрудного чи рудного включення ССРП. Гірничо-геологічна характеристика БРВ буде суттєво впливати на стійкість оголення та напруження які виникають в ньому з часом. Також, дана методика не враховує в повному обсязі зміну напружень протягом часу існування оголень при визначенні еквівалентного прольоту оголення камери другої черги, які суттєво впливають на стійкість безрудного чи рудного включення, рис. 1.

При визначенні параметрів очисної камери 2 другої стадії необхідно враховувати попередні розрахункові значення першої очисної камери, до яких відносять: ширина камери за простяганням та ширина міжкамерних ціликів з наступними граничними умовами

$$a_{II} = a_I; c_{II} = c_I; b_{II} \leq b_I, \quad (8)$$

де a_I, a_{II} – ширина відповідно першої та другої очисної камери за простяганням, м; c_I, c_{II} – ширина міжкамерного цілика відповідно до першої та другої очисної камери, м; b_I, b_{II} – похилий прогін оголення відповідно до першої та другої очисної камери, м.

Існує багато методів з визначення параметрів камер та ціликів. Вони дозволяють визначити міцність, жорсткість, стійкість, зріз, зсув та інші параметри ціликів. Однак, більша з них частина базується на визначенні максимальних напружень в середній частині цілика.

Максимальні напруження виникають в середній частині прольоту оголення у випадку коли БРВ представлений як балка та визначається за формулою (2). Підставивши у формулу (2) вхідні величини, та виконавши відповідні перетворення отримаємо вираз з визначення максимально-допустимого стійкого прогону оголення БРВ

$$l_{БРВ} = \frac{4 \times [\sigma] \times h_n^2}{q} = \frac{4 \times [\sigma] \times m_{БРВ}}{a_{II} \times \gamma_{БРВ}} = \frac{4 \times K_f \times f \times K_{сmp.o} \times m_{БРВ}}{a_{II} \times \gamma_{БРВ} \times K_3}, \quad (9)$$

де $[\sigma]$ – межа міцності порід БРВ на стискання, т/м²; h_n – товщина цілика, м; $m_{БРВ}$ – нормальна потужність безрудного чи рудного включення, м; $\gamma_{БРВ}$ – об'ємна вага порід БРВ, т/м³; K_f – перекладної коефіцієнт тривкості порід в напруження; f – коефіцієнт тривкості гірських порід безрудного чи рудного включення за шкалою проф. Протод'яконова М.М.; $K_{сmp.o}$ – коефіцієнт структурного ослаблення порід тріщинами (приймається від 0,65 до 0,95); K_3 – коефіцієнт запасу міцності порід (приймається 1,5–2,0).

Критеріями стійкості оголень та ціликів є виконання нерівності (10) де порівнюються значення фактичного еквівалентного прогону оголення (9) з геометричними розмірами похилого оголення в очисній камері другої черги відпрацювання [20]

$$l_n = a_{II} \times m_{БРВ} / \sqrt{a_{II}^2 + m_{БРВ}^2} \leq l_{БРВ} \quad (10)$$

У випадку, коли нормальна потужність БРВ менша в 5 разів ніж проліт оголення або ширини камери за простяганням, стійкість БРВ розраховують як пластинка. Напруження, що виникають в пластинці визначаються за формулою (5).

Підставивши у вираз (5) вхідні величини та виконавши відповідні перетворення отримаємо формулу визначення максимально-допустимого прольоту оголення БРВ в залежності від ширини очисної камери другої черги та прольоту оголення

$$l_{БРВ} = \frac{[\sigma] \times m_{БРВ}^2}{3 \times C_1 \times a_{II}^2 \times \gamma_{БРВ}} = \frac{K_f \times f \times K_{сmp.o} \times m_{БРВ}^2}{3 \times C_1 \times a_{II}^2 \times \gamma_{БРВ} \times K_3} \quad (11)$$

У випадку, коли довжина камери за простяганням більша за похилий проліт оголення визначений для камери першої черги (рис. 5 в) стійкий проліт оголення визначається з виразу

$$l_{БРВ} = \sqrt{\frac{[\sigma] \times m_{БРВ}^2}{3 \times C_1 \times a_{II} \times \gamma_{БРВ}}} = \sqrt{\frac{K_f \times f \times K_{сmp.o} \times m_{БРВ}^2}{3 \times C_1 \times a_{II} \times \gamma_{БРВ} \times K_3}} \quad (12)$$

Виконавши розрахунки за формулами (9) та (11) побудовані залежності мінімального прогону оголення очисної камери другої черги від нормальної потужності безрудного чи рудного включення (рис. 2).

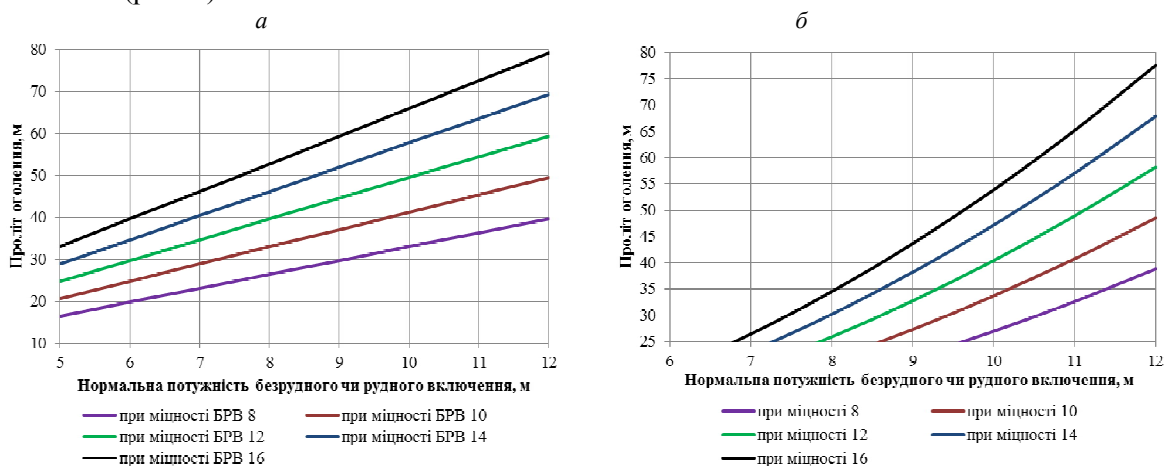


Рис. 2. Залежності мінімального прольоту оголення в залежності від нормальної потужності безрудного чи рудного включення з вмістом корисного компоненту нижче бортового та коефіцієнта тривкості порід БРВ при ширині очисної камери другої черги 25 м коефіцієнтах структурного ослаблення масиву рідним 0,85 і запасу міцності 1,5

З графіків приведених на рис. 2 видно, що зі збільшенням нормальної потужності безрудного чи рудного включення від 5 до 12 м похилий прогін оголення збільшується з 25 до 60 м при ширині очисної камери другої черги 25 м та коефіцієнту тривкості порід безрудного чи рудного покладу 12 за шкалою проф. М.М. Протод'яконова. Слід зауважити, при коефіцієнті міцності порід менше 12 та потужності БРВ рівним 5–6 м розрахований похилий прогін оголення менше за геометричний прогін оголення [20], що доводить можливість застосування системи розробки з відкритим очисним простором.

Таким чином, за результатами теоретичних досліджень визначені параметри конструктивних елементів камерної системи розробки при відпрацюванні складноструктурних рудних покладів для різних гірничо-геологічних умов.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Стійкий проліт оголення очисної камери залежить не тільки від ширини очисної камери другої черги відпрацювання та терміну її, а також від фізико-механічних властивостей безрудного чи рудного включення. Так при висоті поверху 75–90 м стійкість очисної камери забезпечується, коли її ширина за простяганням не

перевищує 15 м.

У випадках коли висота підповерху складає 25–30 м на стійкість очисної камери впливає потужність та міцність безрудного або рудного включення. Так, при міцності БРВ більше 12 та його горизонтальній потужності більше 10 м в стійких рудах доцільно застосовувати поверховий варіант камерної системи розробки.

Список використаних джерел

1. **Колосов В.А., Воловик В.П., Дядечкин Н.И.** Современное состояние и перспективы развития предприятий по добыче и переработке железорудного и флюсового сырья в Украине // Горный журнал. М.: МГУ. 2000. №6. С. 162–168.
2. **Stupnik N., Kalinichenko V., Pismennyi S.** Pillars sizing at magnetite quartzites room-work // Mining Of Mineral Deposits. 2013. P.11–15.
3. Principles of rock pressure energy usage during underground mining of deposits / **Khomenko O., Sudakov A., Malanchuk Z., Malanchuk Ye.** // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2017. Issue 2. P. 35–43.
4. **Щелканов В.А., Хивренко О.Я., Хивренко В.О.** Анализ сложноструктурных залежей Кривбасса // Разработка рудных месторождений: Научно-технический сборник. Кривой Рог: КТУ. 2001. Вып.75. С. 30–35.
5. **Письменный С.В.** Методика визначення активної зони склепоутворення на контурі підземно-транспортної виробки при комбінованій розробці залізрудних родовищ // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. Х.: НТУ "ХПІ". 2017. № 16 (1238). С. 99–106.
6. Modeling of stopes in soft ores during ore mining / **N. Stupnik, V. Kalinichenko, V. Kolosov, S. Pismennyi, A. Shepel** // Metallurgical and mining industry. 2014. Issue 3. P. 32–36.
7. **Лавриненко В.Ф., Лысак В.И.** Уровень удароопасности пород на глубоких горизонтах шахт Кривбасса // Разраб.рудн. месторождений. Киев: Тэхника, КГРИ. 1991. Вып. 52. С. 30–37.
8. **Dineva S., Boskovic M.** Evolution of seismicity at Kiruna Mine. in J Wesseloo (ed.). Proceedings of the Eighth International Conference on Deep and High Stress Mining. Australian Centre for Geomechanics. Perth. 2017. P. 125–139. https://papers.acg.uwa.edu.au/p/1704_07_Dineva/.
9. Testing complex-structural magnetite quartzite deposits chamber system design theme / **Stupnik N.I., Kalinichenko V.A., Kolosov V.A., Pismennyi S.V., Fedko M.B.** // Metallurgical and mining industry. 2014. Issue 2. P. 89–93.
10. **Vladyko O., Kononenko M., Khomenko O.** Imitating modeling stability of mine workings // New techniques and technologies in mining. Netherlands: CRC Press Balkema. 2012. P. 147–150.
11. **Khomenko O., Maltsev D.** Laboratory research of influence of face area dimensions on the state of uranium ore layers being broken // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2013. Issue 2. P. 31–37.
12. Разработка рекомендаций по выбору типа крепления горных выработок и сопряжений в условиях урановых шахт ГП "ВОСТГОК" / **Н.И. Ступник, М.Б. Федько, В.А. Колосов, С.В. Письменный** // Науковий вісник НГУ. 2014. №5. С.21–25.
13. Principles of rock pressure energy usage during underground mining of deposits / **Khomenko, O., Sudakov, A., Malanchuk, Z., Malanchuk, Ye.** // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2017. 2, pp. 35–43.
14. **Carusone O., Hudyma M.** Variations in apparent stress and energy index as indicators of stress and yielding around excavations. in M Hudyma & Y Potvin (eds), Proceedings of the First International Conference on Underground Mining Technology. Australian Centre for Geomechanics. Perth. 2017. P. 205–218.
15. **Khomenko, O., Kononenko, M., Myronova, I.** Ecological and technological aspects of iron-ore underground mining // Mining of Mineral Deposits, 2017. 2(11), P. 59–67.
16. Geomechanics of Sill Pillar Mining / **Hudyma M.R., Potvin Y, Grant D.R., Milne D., Brummer R.K., Board M.** // Rock Mechanics Models and Measurements Challenges from Industry. Proceedings of the 1st North American Rock Mechanics Symposium / the university of Texas at Austin. A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield. 1994. P. 969–976.
17. **Neittaanmäki, P., Repin, S., Tuovinen, T.** (Eds.). Mathematical Modeling and Optimization of Complex Structures. Switzerland: Springer. 2016. P 328. doi: [10.1007/978-3-319-23564-6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23564-6).
18. Analysis and synthesis of complex spatial thin-walled structures. **Marchenko A., Chepurnoy A., Senko V., Makeev S., Litvinenko O., Sheychenko R. et. al.** Proceedings of the Institute of Vehicles. Institute of Vehicles of Warsaw University of Technology. 2017. №1. P. 17–29.
19. Thinwalled structures: analysis of the stressedstrained state and parameter validation / **Tkachuk, M., Bondarenko, M., Grabovskiy, A., Sheychenko, R., Graborov, R., Posohov, V., Lunyov, E., Nabokov, A., Vasiliev, A.** // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 1. №7 (91). P. 18–29.
20. **Цариковский В.В., Сакович В.В., Недзвецкий А.В.** Определение и контроль допустимых размеров конструктивных элементов систем разработки на рудниках Кривбасса // Кривой Рог: НИГРИ. 1987. 35 с.

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф., О.М. ГРИЦАСНКО, асистент,
Д.В. ПОПРУГА, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

ТЕХНІЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО БАЛОЧНО-РОЗРІЗНОГО ПІШОХІДНОГО МОСТУ

Мета роботи – оцінка технічного стану конструкцій споруди пішохідного мосту, який розташований на території цеху РХО ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь»» у місті Маріуполь Донецької області, і розробка рекомендацій для виконання проекту на ремонтно-відновлювальні роботи з подовження терміну безпечної експлуатації споруди.

Методи. Обстеження виконано візуально-інструментальним методом, на основі матеріалів та креслень проектно-ї документації, наданих замовником [1], згідно вимог нормативних документів [3-8], з розробкою та оформленням креслень на ремонтно-відновлювальні роботи.

Практична значимість і результати. Виконане обстеження технічного стану балочно-розрізного пішохідного мосту та аналіз отриманих даних, надали змогу визначити існуючий стан, як окремих конструктивних елементів, так і всієї споруди в цілому, як складної технічної системи.

Основні несприятливі фактори, що впливають на несучу здатність, довговічність та експлуатаційну придатність несучих елементів: неналежне водовідведення з мостового полотна, зниження функціональності гідроізоляції та шарів покриття, руйнування зон деформаційних швів мають домінуючий вплив на стан споруди. Замокання несучих конструкцій призвело до появи деформацій та пошкоджень, що визначені в звіті обстеження споруди.

Взаємодія окремих елементів споруди та факторів, що впливають на її функціонування (кліматичні, експлуатаційні тощо), має складний механізм. Найменш довговічні елементи з часом суттєво знижують термін служби несучих конструкцій та всієї споруди, що повинно враховуватись на етапі проектування та під час експлуатації.

Технічне обстеження споруд надає можливість своєчасно виявляти дефекти і пошкодження, врахувати їх вплив та розробляти ремонтно-відновлювальні заходи для проведення подальших поточних і капітальних ремонтів.

Результати проведених досліджень є типовими для аналогічних споруд. Рекомендовано використовувати їх при обстеженні та прийнятті проектних технічних рішень на відновлення технічного стану балочно-розрізних пішохідних мостів.

Ключові слова: пішохідний міст, технічне обстеження, дефекти, пошкодження, підсилення, технічний стан, торкретування, вуглецеве полотно.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-149-154

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Мости - складна інженерна система 4-5 категорії складності та небезпеки [3], відносяться до найважливіших споруд інфраструктури та мають велике значення для функціонування логістичних зв'язків і економічного розвитку. Мостова споруда експлуатується на протязі багатьох десятиріч, неуважне ставлення до її безпечної експлуатації спричиняє появу різних дефектів і пошкоджень в конструктивних елементах споруди, які становлять загрозу та порушують безпечну експлуатацію або провокують аварійну ситуацію. Регулярний моніторинг та періодичні обстеження мостових споруд зводять до мінімуму витрати на можливі подальші ремонти та реконструкцію.

Оцінка технічного стану споруди є підсумковим етапом робіт із обстеження споруди і виконується на підставі аналізу всіх отриманих даних. Кожний висновок про характеристику технічного стану споруди і окремих елементів повинен бути аргументованим і мати посилання на дані, що наведені в технічному звіті.

За результатами інструментальної зйомки виконується аналіз розвитку залишкових деформацій елементів споруди, робляться висновки про стійкість споруди, наявність прихованих дефектів, зниження несучої здатності, втрату інших експлуатаційних характеристик [6].

Об'єктом дослідження є споруда пішохідного мосту через горловину станції «Прокат» від прохідних УКБ до АПК-2 стану 3600, який розташований на території цеху РХО ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь»» у місті Маріуполь Донецької області (рис. 1). Споруда перетинає внутрішньозаводські залізничні шляхи (в осях 2-5), автодорогу (в осях 7-8), технологічні трубопроводи, територію заводу. Міст запроектований зі збірних з/б конструкцій по типовому проекту пішохідних мостів у 1972 р. і зведений в 1973 р.

У 1999 р. проведено реконструкцію мосту – демонтовано залізобетонні сходи і сходів майданчики та замінені на металеві конструкції згідно креслень ПКВ ПАТ «МК АЗОВСТАЛЬ» 046073-КМЛ-2.

Постановка задачі. Оцінка технічного стану конструкцій споруди пішохідного мосту, робота рекомендацій для виконання проекту на ремонтно-відновлювальні роботи з подовження терміну безпечної експлуатації мосту.

Викладення матеріалу та результати. Міст призначено для безпечного перетину пішоходами ділянок заводської території і розрахований на корисне навантаження від пішоходів 400 кгс/м². Статична конструктивна система мосту – балочно-розрізна. Міст в повздовжньому напрямку 5-ти прогонний з двома прогонами сходів, має монолітну з/б вставку, що з'єднує споруду під кутом 156°39'. Поздовжня схема – 17,88+2×11,88+2×12,1м.

Поперечна схема – дві збірні Т-подібного перерізу залізобетонні діафрагмові балки. Підмостові габарити: над залізничною колією – 7,97 м, над автодорогою – 4,79 м. Довжина мосту 88,6 м, максимальна висота – 8,87 м, ширина – 3,2 м. Опори мосту – з/б прямокутні стійки, розташовані в один ряд, зі збільшеною опорною частиною (капітеллю), нижня частина опор – монолітні з/б елементи в формі паралелепіпеду, фундаменти – збірні залізобетонні. Покриття пішохідного мосту асфальтове, тип водовідведення з пішохідної частини неорганізований, огороження мосту металеве перильне.

Прольотні конструкції - дві збірні залізобетонні діафрагмові балки Т-подібного перерізу, з'єднані між собою металевими планками та діафрагмами, що встановлені в кінцях 12-ти метрових балок і додатковою діафрагмою в середині прогону для балок довжиною 18 м. Основні геометричні характеристики балок наступні: довжина – 12 м (в осях 4-5, 6-7, 7-8, 8-9) і 18 м (в осях 3-4), ширина ділянок: плитної – 1600 мм та ребристої – 400 мм; висота – 900 мм (в осях 3-4, 4-5, 6-7, 8-9) і 600 мм (в осях 7-8). Для виготовлення прольотних конструкцій використано бетон марки 400. Розрахунковий опір по групі А, як для бетонів виготовлених в заводських умовах. Сталева попередньо напружена арматура – проволочка діаметром 5 мм по ГОСТ 7348-55. Натягування арматурних пучків передбачене при досягненні 80% проектною міцності бетонних блоків. Робоча арматура плити та частково балок – сталь гарячекатана періодичного профілю. Інша арматура (розподільна, конструктивна) – сталь кругла класу А-III.

Опори – збірні залізобетонні, запроєктовані по типовому проекту Гипротрансмост, Главтранспроєкт інв. № 247/1 та № 247/2, серія ЖК-10407. Сійки перерізом 600×400 мм. Капітелі – 900×2200 мм, товщина в середині перерізу – 350 мм, по краях – 200 мм. Фундамент сійки – збірний залізобетонний на природній основі. Нижня частина опор – монолітні залізобетонні елементи в формі паралелепіпеду.

Тип мостового полотна – відкритий. Покриття – асфальтове, товщиною 30 мм. Тип водовідведення з пішохідної частини неорганізований. Огороження мосту суцільне металеве, перильне, висотою 1,2 м, сійки закріплені до закладних деталей зв'язів балок. Міст обладнано опорами електроосвітлення.

В осях 5-6 знаходиться монолітна залізобетонна плита, виготовлена за кресленнями серії Ж 27590-7 Укргіпромеза. Розмір плити 3200×1360 мм (2765 мм – в широкій частині), товщина 150 мм, кут перелому плити в плані – 156°39' (під кутом 23°21' до повздовжньої осі симетрії мосту). Армуння нижньої зони – арматура Ø 12 мм класу А-III з кроком 150 мм, армуння верхньої зони – Ø 8 мм класу А-I з кроком 150 мм.

Підходи до мосту, підмостова зона.

Підхід з боку АПК-2 стану 3600 в осях 1-3 – металеві сходи висотою 9,19 м (з позн. +21,610 до позн. +30,800). Сходові марші – металеві косоури із двотавру №45, сходи виконані із рифленої сталі товщиною 6 мм по проекту ПКВ ПАТ «МК АЗОВСТАЛЬ» 046073-КМЛ-2. На позн. +25,700 по осі 2 розташована проміжна опора.

Підхід з боку прохідних УКБ по осі 9 розташований в рівень з позначкою пішохідної дороги (на позн. +30,800).

Конструкція огорожі мосту – серія ЖК-10407, КИ13/231-104. Елементи огорожі виготовлені із прокатного профілю – кутика.

В результаті обстеження технічного стану елементів і несучих конструкцій споруди пішохідного мосту складено звіт [2]. Обстеження виконано візуально-інструментальним методом, на основі матеріалів та креслень проектною документації, наданих замовником [1], згідно вимог

нормативних документів [3-8], з розробкою та оформленням креслень на ремонтно-відновлювальні роботи.

Згідно вимог [3] споруда мосту по класу відповідальності за наслідками відноситься до СС2, клас відповідальності споруди за вимогами – III (третій) [3].

Монтажна схема прогонових будов мосту

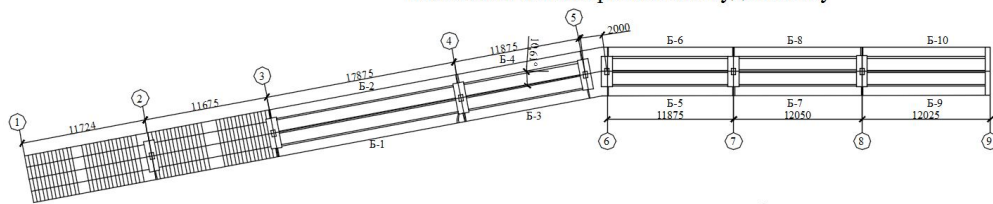


Схема опор та опорних частин (капітелей)

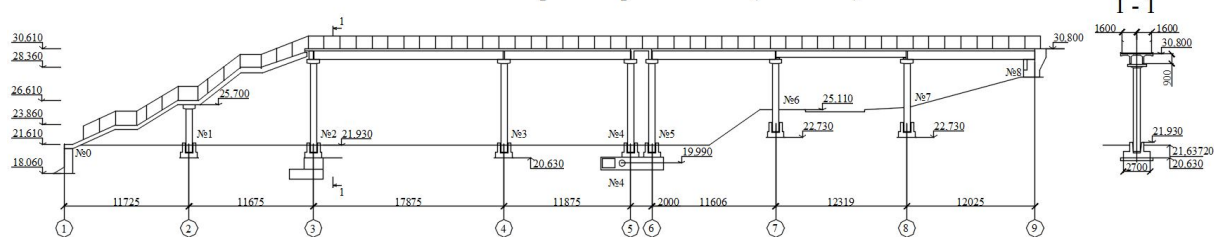


Рис. Схема пішохідного мосту

Під час обстеження встановлено.

По конструкціям прогонів:

у прогоні 3-4 біля осі 4 в балці Б-1 наскрізна тріщина на всю ширину полиці з шириною розкриття до 2 мм, а також сколювання бетону ребра на ділянці 10 см; з торця балки на ділянці 40 см відремонтована зруйнована полка (відновлено геометричні розміри);

руйнування захисного шару (сколювання) бетону: на опорній ділянці 0,1-0,2 м² ребра балок Б2, Б5, Б9; в полицях балок Б4, Б5, Б9 на ділянці 0,01-0,015 м² в місцях кріплення стійок огороження з оголенням та корозією арматури до 5%;

корозійна тріщина з шириною розкриття до 1 мм в ребрі низу полки балки Б-9 на ділянці до 1 м;

зазор деформаційного шву (ось 8) перевищує проектний розмір, його заповнення зруйновано, усі інші деформаційні шви заповнені бетоном;

на нижній поверхні полок балок конструкцій прогонів сліди намокання та висоли в місцях міжбалкового і деформаційних швів та зв'язів балок.

Технічний стан залізобетонних конструкцій прогонів – 3 (працездатний).

По опорам:

тріщини в нижній частині стійки опори №2 по осі 3 з шириною розкриття до 1 мм довжиною до 1 м, руйнування захисного шару бетону капітелі з оголенням та корозією арматури (зменшення перерізу) до 10%, розрив каркасу та обрив хомутів;

руйнування захисного шару бетону на всю висоту стійки і капітелі опор №2 по осі 3 та №3 по осі 4 з оголенням і корозією арматури (зменшення перерізу) 5-7%;

руйнування захисного шару бетону капітелей та частково стійок опор №4 по осі 5, №5 по осі 6, №6 по осі 7 на ділянках 0,05-2 м² з оголенням та корозією арматури (зменшення перерізу) 5-10%;

руйнування захисного шару бетону стійки опори №7 по осі 8 на ділянці 0,05 м² з оголенням та корозією арматури (зменшення перерізу) 2%;

руйнування захисного шару бетону опори №8 по осі 9 (нижньої частини опори) на боковій ділянці до 3 м² з оголенням та корозією арматури (зменшення перерізу) до 10%;

сліди намокання та висоли на поверхнях опорних конструкцій.

Технічний стан опор – 4 (обмежено працездатний).

По мостовій споруді:

в асфальтовому покритті мостового полотна прогонів 3-4, 4-5, 6-7, 8-9 повздовжні тріщини в зоні міжбалкових швів, хаотично розташовані повздовжні і поперечні тріщини, вибоїни глибиною 1-2 см площею до 0,01 м², руйнування кромки асфальтобетону в температурних швах та

на бічних сторонах прогонів площею 1-2,5 м², порушена герметичність усіх швів, якість гідроізоляції незадовільна;

відсутнє водовідведення з поверхні пішохідного полотна;

руйнування захисного шару нижньої поверхні монолітної плити на площі до 5 м² з оголенням та корозією арматури (зменшення перерізу) до 7%;

руйнування бетону верхнього ребра монолітної плити на ділянці 0,4 м в зоні кріплення стійки огороження з оголенням та корозією арматури (зменшення перерізу) до 2%;

сліди намочання та висолу на нижній поверхні монолітної плити;

порушена анкерівка стійок огороження в наслідок часткового руйнування ділянок бетону, в місцях їх з'єднання з конструкціями прогонів, а також монолітною плитою перекриття;

тріщини в зварних швах з'єднання стійок з кутиком обрамлення секцій огорожі;

вигин нижнього горизонтального елемента обрамлення огорожі в прогоні 6-7 зі зміщенням до 2 см з площі секції;

зміщення співосності закріплення верхнього горизонтального елемента обрамлення до стійки по осі 9;

зношено антикорозійне покриття та корозія металевих елементів огорожі;

система освітлення пішохідного мосту не працює, в осях 3-4 стовп освітлення закріплено до стійки перильної огорожі скруткою проволочки, зношене антикорозійне покриття та наявна корозія стовпів освітлення;

з 5 прокладених по мосту на підпорах трубопроводів 1 обірваний, зношено антикорозійне покриття та корозійне ушкодження нижньої частини на 8 стійках опор трубопроводу на 30-80% (зменшення перерізу).

По підходах до мосту, підмостовій зоні:

в асфальтовому покритті сходових майданчиків хаотично розташовані повздовжні та поперечні тріщини, вибоїни, наскрізні отвори, бугри в кінці косоурів, руйнування кромки асфальтобетону; зношено антикорозійне покриття, корозійне ушкодження (зменшення перерізу) до 10% металевих елементів сходових майданчиків.

Технічний стан підходів до мосту – 2 (обмежено справний).

Міцність бетону на стиск конструкцій прогонів та опор відповідає проектній документації [1].

Висновки та рекомендації. Аналізуючи результати обстеження, визначено найбільш пошкоджені конструктивні елементи й несприятливі фактори, що впливають на несучу здатність, довговічність та експлуатаційну придатність несучих елементів і всієї споруди взагалі: неналежне водовідведення з мостового полотна, зниження функціональності гідроізоляції та шарів покриття, руйнування зон деформаційних швів мають домінуючий вплив на стан споруди. Замочання несучих конструкцій призвело до появи деформацій та пошкоджень, що наведені в звіті обстеження споруди.

З метою відновлення несучої здатності, надійності та довговічності необхідно вжити наступні заходи [9-11]:

Першим етапом – з метою відновлення несучої здатності провести ремонтно-відновлювальні роботи за спеціально розробленим проектом:

виконати підсилення опорних капітелей стійок мосту по осям 3-8 жорсткими опорами з улаштуванням підкосів;

виконати підсилення опори (стійки) мосту по осі 3 залізобетонною обіймою.

Другим етапом – з метою відновлення надійності та довговічності, провести ремонтно-відновлювальні роботи:

відновити захисний шар бетону конструкцій прогонів методом нанесення готових ремонтних сумішей з полімерними домішками;

відновити захисний шар бетону опор (стійок) мосту по осям 4-8 методом вологого торкретування;

відновити захисний шар бетону капітелей по осям 3-8 методом вологого торкретування;

відновити захисний шар бетону бокової поверхні нижньої частини опор методом вологого торкретування;

відновити захисний шар бетону нижньої поверхні монолітної плити методом вологого торкретування;

здійснити ін'єктування наскрізних тріщин в полиці конструкцій прогонів в осях 3-4 епок-

сидними матеріалами та підсилити полку наклеюванням вуглецевого полотна;
очистити деформаційні шви від бетону та влаштувати їх герметизацію (укласти поліпропіленовий джгут-фіксатор і заповнити шви поліуретановим компаундом «Пенталак-ГПМ»);
виконати роботи по нанесенню захисного фарбування на поверхню капітелей (3 шари фарби Zontvifix F92);
виконати роботи по нанесенню захисного покриття на металеві конструкції підсилення капітелей, перильної огорожі та сходів (1 шар ґрунту ГФ 021, 2 шари фарби ПФ-115);
виконати роботи по влаштуванню антикорозійного протиковзного покриття шаблів сходів (2 шари Темакоут РМ 40);
виконати роботи по ремонту асфальтового покриття мостового полотна з влаштуванням поперечного ухилу, тріщини очистити та залити розчином поліуретан-бітумної мастики ISOFLEX-PU 560 BT, відновити покриття поверхні заливкою полімер-бетонного розчину на біополіуретані «Реактопласт-Пенталак» на всю висоту асфальтового покриття;
організувати відведення атмосферних опадів з мосту встановивши спеціальні лотки із модифікованої пластмаси для збирання і відведення води з тротуару за межі несучих елементів.

Виконання даних рекомендації дозволить відновити несучу здатність та подовжити термін нормальної експлуатації. Враховуючи вимоги ДБН В.2.3-6:2009 (періодичність планових обстежень - 5 років) та стан конструкцій опорних капітелей колон - 4 (обмежено працездатний), наступне обстеження провести після виконання ремонтно-відновлювальних робіт.

Виконане обстеження технічного стану балочно-розрізного пішохідного мосту та аналіз отриманих даних, надали змогу визначити існуючий стан, як окремих конструктивних елементів, так і всієї споруди, як складної технічної системи в цілому.

Взаємодія окремих елементів цієї системи та факторів, що впливають на її функціонування (кліматичні, експлуатаційні тощо), має складний механізм. Найменш довговічні елементи з часом суттєво знижують термін служби несучих конструкцій та всієї споруди, що повинно враховуватись на етапі проектування та під час експлуатації.

Технічне обстеження споруд надає можливість своєчасно виявляти дефекти і пошкодження, врахувати їх вплив та розробляти ремонтно-відновлювальні заходи для проведення подальших поточних і капітальних ремонтів.

Результати проведених досліджень є типовими для аналогічних споруд. Рекомендовано використовувати їх при обстеженні та прийнятті проектних технічних рішень на відновлення технічного стану балочно-розрізних пішохідних мостів.

Список літератури

1. Звіт про технічний стан за результатами обстеження № ЗТС-001-010-2012 Пішохідний міст через горловину станції Прокат від прохідної УКБа до АБК-2 стана 3600 (инв.№570), цех РХО, Донецька обл., м. Маріуполь, «ПрАТ МК «Азовсталь»: ТОВ «Донецька науково-дослідна будівельна компанія»: директор Данільченко В. Ф.; викон.: Кожанов А. П. [та ін.]. – Донецьк, 2012. – 32 с.
2. Звіт експертизи за результатами експертного обстеження № 19439299-09-14-015-2017 Пішохідний міст через горловину станції Прокат від прохідних УКБ до АПК-2 стану 3600. (инв. № 570). Цех РХО ПрАТ «Металургійний комбінат «АЗОВСТАЛЬ». ЧАО «НПДЦ» м. Кривий Ріг 2017 р. – 51 с.
3. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. – 29 с.
4. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 44 с.
5. ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012 р. – 42 с.
6. ДБН В.2.3-6:2009. Мости і труби. Обстеження і випробування. К.: Мінрегіонбуд України, 2009 р. – 43 с.
7. ДБН В.2.3-22:2009. Мости і труби. Основні вимоги проектування. К.: Мінрегіонбуд України, 2009 р. – 52 с.
8. ДСТУ Б В.2.6-210:2016. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються. К.: Мінрегіонбуд України, 2017 р. – 80 с.
9. **Валовой М.О.** Ефективні матеріали для підсилення залізобетонних конструкцій / **М.О. Валовой, Д.В. Попруга** // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне, 2008. – С. 7-13.
10. **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. – Вип. 8. – С. 58-64.
11. **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. – Вип. 44. – С. 147-150.

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

**СИСТЕМА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО КЕРУВАННЯ ДИНАМІЧНИМ
КОМПЕНСАТОРОМ ВИКРИВЛЕНЬ НАПРУГИ**

Метою роботи є аналіз існуючих структур силових частин та способів керування динамічним компенсатором викривлень напруги. Виконується порівняння енергоефективності існуючих способів компенсації просадки, перевищення та несиметрії напруги. Доведено, що, оскільки якість електричної енергії є важливим фактором функціонування будь-яких систем електропостачання через її безпосередній вплив на показники енергоефективності, надійності та продуктивності обладнання. Тому виявлення закономірностей функціонування динамічних компенсаторів викривлень напруги для навантажень, що є чутливими до якості електричної енергії, а також розробка енергоефективних способів керування такими системами, що дозволить підвищити їх можливості відносно тривалості компенсації відхилень напруги, є актуальною задачею.

Методи наукового дослідження. Для її вирішення були використані загальні методи теорії автоматичного керування, методи теорії оптимального керування та методи дослідження нелінійних систем автоматичного керування, варіаційне й матричне обчислення.

Наукова новизна роботи полягає в розробці принципів комбінованого керування, яке поєднує в собі компенсацію зміни фази напруги в мережі з подальшим безшовним переходом до синфазної компенсації. Шляхом математичного моделювання роботи динамічного компенсатора напруги було отримано матеріал для порівняльного аналізу енерговитрат автономного джерела енергії при використанні синфазної та попередньої компенсації.

Основними науковими та практичними результатами є аналіз існуючих структур динамічних компенсаторів викривлень напруги. У результаті роботи розрахунки підтверджують, що при використанні синфазної компенсації значно зменшується обсяг електричної енергії, яка споживається від автономного джерела живлення, у порівнянні з попередньою компенсацією, що враховує можливу зміну фазового кута напруги в мережі. Також розроблено структуру системи керування динамічним компенсатором викривлень напруги, яка передбачає комбіноване використання попередньої та синфазної компенсацій, що дозволяє покращити показники енергоефективності таких систем.

Ключові слова: якість електричної енергії, динамічний компенсатор викривлень напруги, фазове автопідлаштування частоти, просадка напруги, перевищення напруги, несиметрія напруги, швидкодія системи.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-154-160

Проблема та її зв'язок з науковими та технічними задачами. Сучасне життя є залежним від електричної енергії, тому проблема її якості є важливою для функціонування системи електропостачання як побутових, так і комерційних та промислових споживачів. Від якості електроенергії залежить як продуктивність використовуваного обладнання, так і його енергоефективність. Проблеми з якістю електроенергії повинні бути скомпенсовані для забезпечення якісного функціонування обладнання, що є актуальною задачею як для постачальника, так і для споживача. Явища просадок або підвищень напруги, які є найбільш розповсюдженими відхиленнями в якості електроенергії, можуть призводити до значного зростання струму або перенапруги. Серед пристроїв, призначених для вирішення даних проблем, представлено клас динамічних компенсаторів викривлень напруги, що є достатньо ефективними та дешевими.

Аналіз досліджень та публікацій. Динамічний компенсатор напруги є напівпровідниковим пристроєм, що призначений для короткочасної компенсації просадок та перевищень напруги в живлячій мережі. За останні роки було розроблено значну кількість технічних рішень щодо структури його силових частин та системи керування. Основні положення щодо розробки та дослідження динамічних компенсаторів викладено у [1-4], де описано системи керування, а також способи їх дослідження шляхом математичного моделювання. Показано, що використання динамічних компенсаторів напруги забезпечує ефективне відновлення її якісної форми. Обговорено базову структуру та принцип функціонування при використанні різних способів компенсації. Системи керування інвертором напруги, що є складовою динамічних компенсаторів напруги, представлені у [5-8]. Аналіз показників динамічних компенсаторів напруги при використанні синусоїдальної широтно-імпульсної модуляції та просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції представлено у [9-10]. Доведено, що застосування просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції дозволяє краще використовувати напругу в ланці постійного струму та створює менші гармонійні викривлення у порівнянні з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією. Засоби моделювання та фізичної реалізації алгоритмів просторово-

векторної широтно-імпульсної модуляції представлено у [12]. У [13] виконано розробку нової системи керування дворівневим інвертором напруги, що базується на семисегментній просторово-векторній широтно-імпульсній модуляції.

Представлені способи керування передбачають перетворення вектору трифазної живлячої напруги до системи відліку, що обертається синхронно. У такому випадку складова по осі d дає інформацію щодо рівня просадки напруги, а складова q – інформацію щодо фазового зсуву. Отриманий таким чином сигнал помилки передається до блоків просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції для здійснення керування ключами інвертора динамічного компенсатора напруги.

Постановка задачі. Для розробки системи керування динамічним компенсатором, що відрізняється від існуючих здатністю компенсувати не тільки просадки та перевищення, а ще й режими несиметрії напруги, необхідно розробити засоби ідентифікації просадок, перевишень та несиметрій у мережевій напрузі, дослідити шляхи компенсації відхилень у якості електричної енергії, зробити вибір найбільш раціональної структури системи керування та дослідити показники якості системи електропостачання при використанні у її складі динамічного компенсатора запропонованої структури.

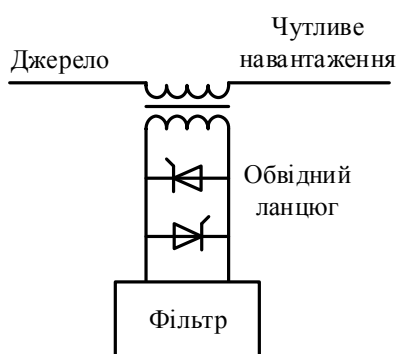


Рис. 1. Динамічний компенсатор викривлень напруги у режимі очікування

Викладення матеріалу та результати. Динамічний компенсатор напруги є пристроєм, який включається послідовно до чутливих навантажень, вводячи додаткову напругу до живлячої напруги таким чином, щоб виконувати корекцію її форми. Більшу частину часу він знаходиться в режимі очікування, а при необхідності за допомогою трьох однофазних трансформаторів, які живляться керованою величиною напруги, що є синфазними з напругою мережі, компенсує наявність викривлень у напрузі мережі. У загальному випадку динамічний компенсатор напруги може працювати в наступних режимах:

1) Режим очікування. У такому режимі низьковольтна обмотка трансформатора закорочена (рис. 1). Керування ключами інвертора не здійснюється.

2) Режим захисту. Для захисту пристрою від руйнівної дії великих струмів під час короткого замикання або перевантаження у структурі динамічного компенсатора напруги необхідно передбачити байпасні перемикачі, щоб струм міг проходити у навантаження, мінаючи динамічний компенсатор (рис. 2).

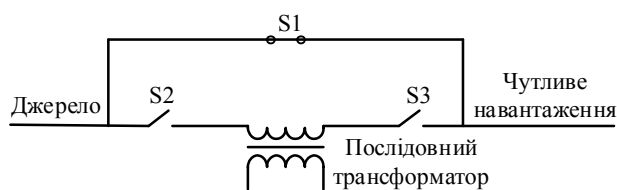


Рис. 2. Динамічний компенсатор викривлень напруги в режимі захисту

3) Режим компенсації. В цьому режимі динамічний компенсатор вводить компенсаційну напругу через послідовний трансформатор, працюючи за наступним алгоритмом: 1. Виявлення відхилення в якості електричної енергії, пов'язаного з просадками або перевищеннями напруги. Це реалізується порівнянням виміряних значень напруги з їх заданими значеннями. Різниця між цими величинами слугує напругою завдання для динамічного компенсатора напруги. 2. Для отримання сигналів керування ключами інвертора, що створює необхідну середню напругу, використовуються відповідні методи модуляції, такі як просторово-векторна широтно-імпульсна модуляція. 3. В подальшому вихідна напруга інвертора фільтрується за допомогою пасивного фільтра. 4. Отримана напруга подається на обмотку послідовно включеного з навантаженням трансформатора.

Базова структура динамічного компенсатора викривлень напруги представлена на рис. 3 та складається з послідовного трансформатора, автономного інвертора напруги, накопичувача електроенергії, пасивного фільтра та системи керування.

Послідовний трансформатор призначений для підвищення діючого значення вихідної напруги автономного інвертора напруги та введення додаткової напруги до напруги у живлячій

мережі. Вибір схеми з'єднання обмоток даного трансформатора та його коефіцієнту трансформації залежить від використовуваної схеми динамічного компенсатора, а саме від способу зарядки накопичувача електричної енергії. Величина просадки та перевищення напруги, що може бути компенсована за допомогою динамічного компенсатора, залежить від вибору номінальних значень та коефіцієнту трансформації послідовного трансформатора та інвертора.

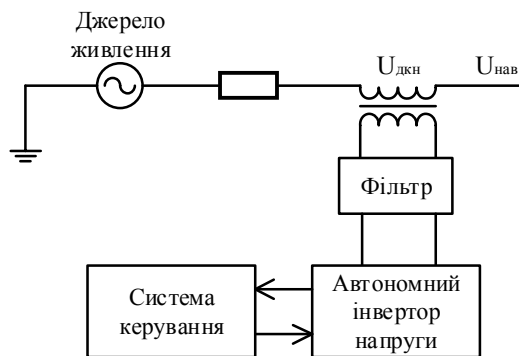


Рис. 3. Базова структура динамічного компенсатора викривлень напруги

Автономний інвертор перетворює постійну напругу накопичувача енергії у змінну. Вихідна напруга інвертора в подальшому підвищується за допомогою трансформатора, тому інвертор обирається з низькою номінальною напругою, проте зі значним номінальним струмом, враховуючи подальше перетворення параметрів електричної енергії трансформатором.

Пасивний фільтр усуває вищі гармонійні складові, що присутні на виході автономного інвертора напруги. Він

може застосовуватися як на стороні автономного інвертора, так і на обмотці трансформатора з вищою напругою.

Накопичувач електричної енергії призначений для забезпечення необхідної реальної потужності під час компенсації для створення компенсаційної напруги потрібної величини. У якості накопичувачів у структурі динамічних компенсаторів можуть застосовуватися свинцово-кислотні батареї, електролітичні конденсатори та суперконденсатори, маховики. Ємність даних накопичувачів є основним фактором, що впливає на показники тривалості компенсації динамічних компенсаторів. Система зі значними відхиленнями у якості електричної енергії вимагає застосування накопичувача з великою ємністю. Якщо у випадку накопичувачів застосовуються акумуляторні батареї та конденсатори, то для їх підключення використовують інвертори, а у випадку використання маховиків застосовують перетворювачі за схемою випрямляч – інвертор.

В основу керування напругою компенсації динамічного компенсатора напруги (рис. 4) покладена синхронізація з напругою живлення як для ідентифікації наявності просадки або перевищення напруги, так і для виконання функції компенсації даних явищ.

Коли у системі не спостерігається відхилення у якості електроенергії, напруга мережі U_s фіксується як величина напруги до просадки U_0 . У такій ситуації напруга, що вводиться компенсатором, дорівнює нулю, а напруга мережі дорівнює напрузі на навантаженні U_l .

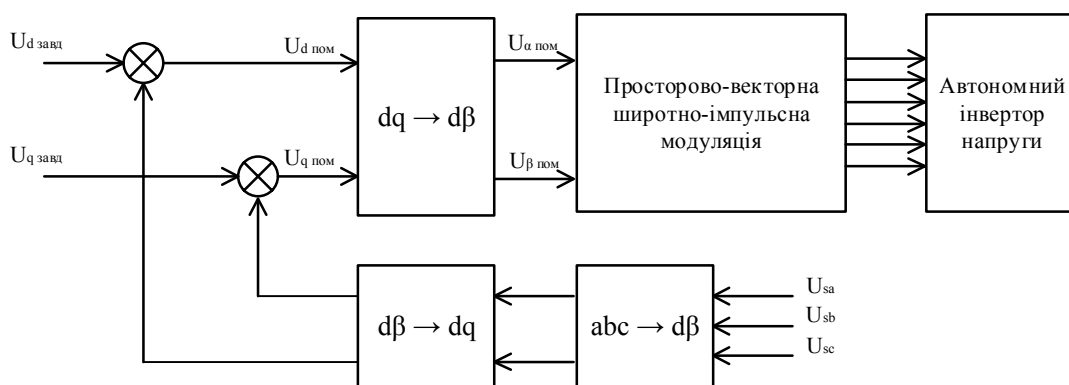


Рис. 4. Структура системи керування динамічним компенсатором напруги

Під час виникнення відхилення величина та фазовий кут напруги у мережі змінюються до величини $U_{прос}$. Динамічний компенсатор напруги починає працювати, додаючи до напруги мережі напругу компенсації $U_{дкн}$. У випадку виникнення відхилення, що може бути повністю скомпенсоване за рахунок динамічного компенсатора, напруга на навантаженні буде дорівнювати тій, що була до виникнення відхилення, тобто U_0 .

Для реалізації керування динамічним компенсатором напруги можна застосувати декілька методів.

1) Попередня компенсація просадки. Цей спосіб, як видно з рис. 5а, компенсує різницю між напругою під час просадки та напругою до просадки шляхом відновлення миттєвих значень напруг до величини і фази номінального режиму. Використання такого підходу може бути рекомендоване для нелінійних навантажень, таких як тиристорно-керовані електроприводи, які використовують фазове керування, а, отже, є чутливими до зміни фази сигналу.

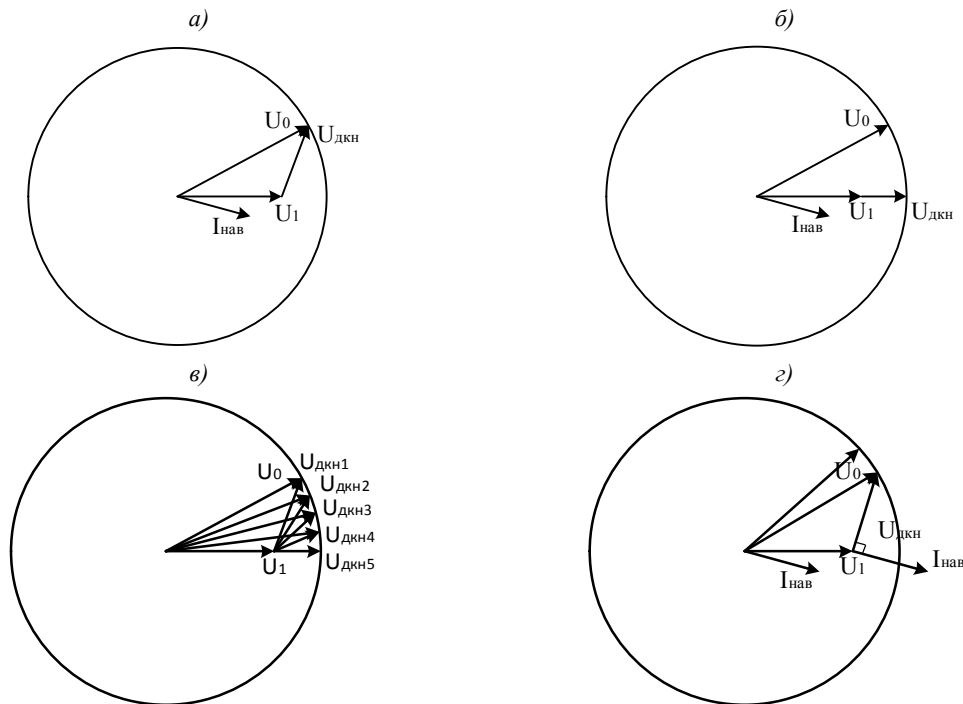


Рис. 5. Векторні діаграми для: а – використання попередньої компенсації, б – використання синфазної компенсації, в – комбінованого використання методів попередньої та синфазної компенсації, з – оптимізації енерговитрат

2) Синфазна компенсація. При реалізації методу, вказаного на рис. 5б, компенсаційна напруга знаходиться в одній фазі з напругою під час просадки, а тому виконується компенсація лише її величини. Дана методика мінімізує напругу, що вводиться за рахунок динамічного компенсатора, а тому її використання рекомендоване лише для лінійних навантажень, що не залежать від фазового кута.

Розглянемо можливість комбінованого використання методів попередньої та синфазної компенсації для досягнення вищої ефективності керування. При такому керуванні система спочатку відновлює напругу навантаження до тієї ж амплітуди і фази, що були до просадки (тобто використовується метод попередньої компенсації), а потім поступово змінює введену напругу у бік фази напруги під час просадки. У кінцевому результаті компенсована напруга знаходиться у тій же фазі, що і напруга під час просадки, повільно зміщуючись від початкової величини.

На рис. 5в представлено концепцію даного методу керування. З рисунку видно, що на початку компенсації додаткова напруга $U_{дкн1}$ використовується у системі для попередньої компенсації, а в подальшому повільно фаза введеної напруги зміщується у напрямку $U_{дкн4}$ (синфазна компенсація).

3) Метод оптимізації енерговитрат. Цей метод виконує керування динамічним компенсатором з мінімізацією вимог до ємності накопичувача енергії, як показано на рис. 5з. При цьому використання активної потужності є мінімальним або рівним нулю за рахунок зміщення компенсаційної напруги на кут 90° по відношенню до струму навантаження. Проте, такий підхід вимагає використання автономного інвертора та трансформатора з більш високими номінальними значеннями через необхідність створювати компенсаційну напругу більшої величини

Шляхом математичного моделювання роботи динамічного компенсатора напруги було розраховано наступні дані для порівняння енергоефективності синфазної та попередньої компен-

сації, що наведені у табл. 1. Як видно з наведених даних, використання синфазної компенсації дозволяє значно знизити кількість електричної енергії споживаної від автономного джерела. Отже, розробка комбінованої системи керування, яка при виникненні просадки здійснювала б компенсацію за принципом збереження закону зміни фазового кута з подальшим безшовним переходом до синфазної компенсації, є доцільним.

Таблиця 1

Порівняння енерговитрат автономного джерела енергії при використанні синфазної та попередньої компенсацій

Просадка напруги $\Delta U, \%$	Напруга в мережі $U, \text{В}$	Синфазна компенсація		Попередня компенсація			
		$U_{к1}, \text{В}$	$P_{к1}, \text{Вт}$	α	$U_{к2}, \text{В}$	α_k	$P_{к2}, \text{Вт}$
10	280,014	31,113	197	10	60,126	-53,97	831,6
				20	107,126	-63,38	1501
				30	155,922	-63,887	2184
20	248,902	62,225	393,9	10	78,899	-33,217	958,1
				20	114,945	-47,783	1553
				30	156,914	-52,478	2160
30	217,789	93,338	590,9	10	103,783	-21,371	1085
				20	129,942	-34,977	1605
				30	163,915	-41,631	2137

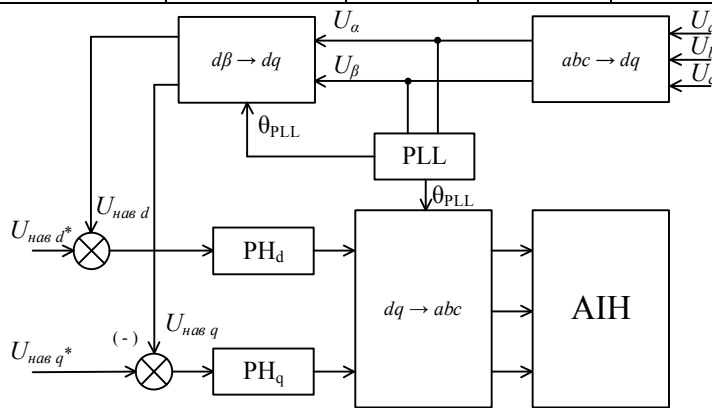


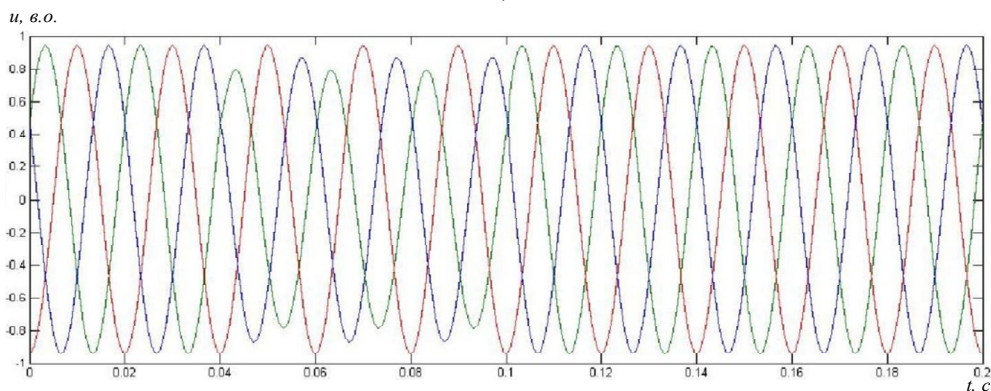
Рис. 6. Запропонована система керування динамічним компенсатором напруги

Структура запропонованої системи керування динамічним компенсатором напруги представлена на рис. 6. Для оцінки поточної фази напруги в мережі використовується блок фазового автопідлаштування частоти.

Для дослідження запропонованої системи керування було виконано математичне моделювання у середовищі Matlab/Simulink. На рис. 7 представлено результати моделювання поведінки динамічного компенсатора викривлень напруги в умовах несиметричної просадки напруги, яка може спостерігатися при підключенні до мережі потужних однофазних навантажень. Вихідна напруга динамічного компенсатора напруги у такому режимі також є несиметричною, що дозволяє створити симетричну напругу на навантаженні, як суму двох несиметричних напруг: мережі та компенсатора.

Система керування демонструє достатню швидкодію для забезпечення високої якості електричної енергії для живлення чутливих навантажень. Використання запропонованого підходу до керування динамічним компенсатором напруги створює умови для зниження кількості споживаної від акумуляторної батареї електричної енергії, що дозволяє підвищити експлуатаційні показники таких систем.

a)



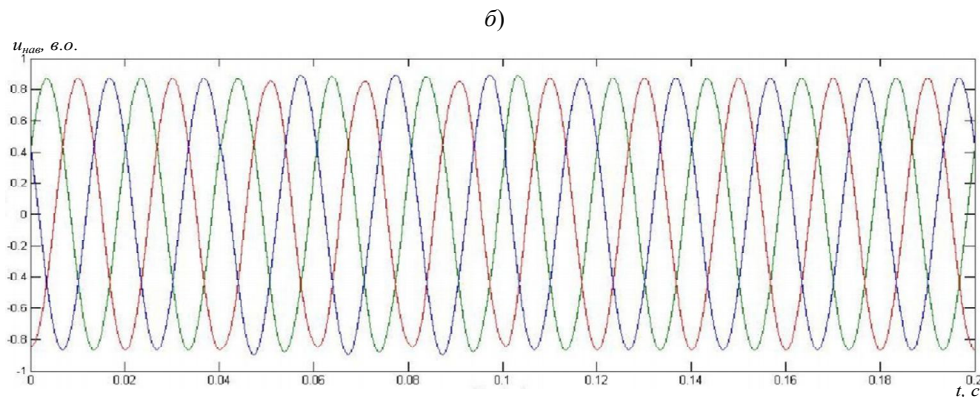


Рис. 7. Графіки напруги в мережі (а) та напруги на навантаженні (б) при несиметричній просадці напруги

Висновки та напрямок подальших досліджень. У роботі здійснено теоретичне узагальнення й розв'язання актуальної науково-технічної задачі підвищення енергоефективності динамічних компенсаторів викривлень напруги. Проаналізовано існуючі структури динамічних компенсаторів напруги та встановлено, що у випадку необхідності компенсації просядок, перевищень та несиметрії напруги доцільно застосовувати схему з одним послідовним трансформатором. Також встановлено, що при використанні синфазної компенсації значно зменшується обсяг електричної енергії, що споживається від автономного джерела живлення, у порівнянні з попередньою компенсацією, що враховує можливу зміну фазового кута напруги в мережі. Розроблено структуру системи керування динамічним компенсатором викривлень напруги, яка передбачає комбіноване використання попередньої та синфазної компенсацій, що дозволяє покращити показники енергоефективності таких систем.

Список літератури

1. Babaei E. Voltage quality improvement by a dynamic voltage restorer based on a direct three-phase converter with fictitious DC link / E. Babaei, M. Farhadi Kangarlu // IET Generator Transmission Distribution. – 2011. – Vol. 5, Iss. 8. – pp. 814-823.
2. Ngai-man Ho C. Design and Implementation of a Fast Dynamic Control Scheme for Capacitor-Supported Dynamic Voltage Restorers / C. Ngai-man, Chung S. H., Au T. K. // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2008. – Vol. 23, no. 1.
3. Ямненко Ю. С. Фільтро-компенсуючий перетворювач з системою заряду/розряду акумуляторної батареї / Ю. С. Ямненко, Т. О. Терешенко, Д. А. Миколаєць // Технічна електродинаміка. – 2015. – № 5. – 16-20 с.
4. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И. В. Жежеленко. – Изд. 6-ое, перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 375 с.
5. Жежеленко И. В. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 261.
6. Бурбело М. Й. Спосіб вимірювання параметрів несиметрії навантажень вузлів електричних мереж / М. Й. Бурбело, М. В. Кузьменко, М. В. Никитенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 3. – 30-33 с.
7. Li Y. W. Design and Comparison of High Performance Stationary-Frame Controllers for DVR Implementation / Y. W. Li, F. Blaabjerg, D. Mahinda Vilathgamuwa, P. C. Loh // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2007. – Vol. 22, no. 2.
8. Fitzer C. Voltage Sag Detection Technique for a Dynamic Voltage Restorer / C. Fitzer, M. Barnes and P. Green // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2004. – Vol. 40, no. 1.
9. Zhan C. Dynamic voltage restorer based on voltage space vector PWM control / Zhan C., V. K. Ramachandaramurthy, A. Arulampalam, C. Fitzer, S. Kromlidis, M. Barnes, and N. Jenkins // IEEE Transactions Industry Applications. – 2001. – Vol. 37. – Pp. 1855-1863.
10. Ananthababu P. Performance of Dynamic Voltage Restorer (DVR) against Voltage sags and swells using Space Vector PWM Technique / P. Ananthababu, B. Trinadha, K. Ramcharan // International Conference on Advances in Computing, Control, and Telecommunication Technologies. – 2009.
11. Roncero-Sanchez P. A Versatile Control Scheme for a Dynamic Voltage Restorer for Power-Quality Improvement / P. Roncero-Sanchez, J. Enrique Ortega-Calderon // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2009. – Vol. 24, no. 1.
12. Rodriguez P. A vector control technique for medium voltage multilevel inverters / P. Rodriguez, J. Moran, P. L. Correa, C. Silva // IEEE Transactions, IE-49. – 2002. – Pp. 882-887.
13. Wang F. Sine-triangle versus space vector modulation for three level PWM voltage source inverters / F. Wang // IEEE Transactions. – 2002.

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

ПРОГНОЗУВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ КОНВЕЄРНОЇ УСТАНОВКИ

Мета. Підвищення економічної ефективності експлуатації стрічкового конвеєра за рахунок застосування надійних і високоефективних засобів діагностування технічного стану і прогнозування ресурсу роботи обладнання установки.

Методи дослідження. Для вирішення цього завдання використано: наукове узагальнення раніше виконаних досліджень; методи вимірювання і оцінка динамічних навантажень; методи діагностики ушкоджень; експериментальні дослідження впливу навантажень на технічний стан обладнання; методи розроблені в механіці; методи обробки випадкових процесів і математичної статистики.

Наукова новизна. Нові можливості в роботі і застосуванні системи діагностики та прогнозування з'являються при експлуатації стрічкового конвеєра, забезпеченого регульованим приводом і автоматичною системою управління режимами транспортування.

У зв'язку з цим, автори досліджують стрічковий конвеєр як об'єкт діагностування з урахуванням наявності системи автоматичного керування режимами роботи установки, розробити прогресивні і технічно реалізуємі способи і пристрої, на базі яких сформульовано принципи автоматизованої системи діагностики та прогнозування.

Практична значимість. Нові можливості в роботі і застосуванні системи діагностики та прогнозування з'являються при експлуатації стрічкового конвеєра, забезпеченого регульованим приводом і автоматичною системою управління режимами транспортування. Економічна ефективність застосування автоматизованої системи діагностики і прогнозування ресурсу досягається за рахунок таких факторів як збільшення середнього часу між ремонтами, зростання продуктивності об'єкта обслуговування та зниження витрат на технічне обслуговування, фактичне усунення несподіваних поломок, підвищення надійності і продуктивності, усунення вторинних поломок, зменшення тривалості ремонтів. Це призводить до підвищення коефіцієнта готовності на $0,015 \div 0,02$ і коефіцієнта використання на $0,02 \div 0,03$.

Результати. У роботі показано, що діагностування технічного стану стрічкового конвеєра, забезпеченого регульованим приводом, прогнозування його залишкового ресурсу й створення автоматизованої системи діагностики та прогнозування працездатності конвеєрної установки припускає розробку узагальненої моделі технічного стану і діагностування, що враховує наявність регульованого приводу й можливості впливу на режими експлуатації установки.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, технічний стан, працездатність, діагностування, прогнозування, регульований привод, автоматична система керування.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-160-164

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Ефективність роботи конвеєрних установок залежить від великої кількості чинників, серед яких працездатність має надзвичайне значення. Застосування спеціальних заходів, а саме, визначення технічного стану механізмів конвеєра, може ще більше підвищити ефективність роботи конвеєрного транспорту, зокрема, покращити показники надійності, такі як: коефіцієнт готовності та коефіцієнт технічного використання. В даний час відомо, що вони відповідно становлять $0,85 \div 0,96$ і $0,63 \div 0,67$ [2].

Відомо, що для підвищення загального коефіцієнта готовності конвеєрної установки необхідно скоротити час відновлення і працездатності, а для підвищення коефіцієнта технічного використання - виключення часу на позапланове технічне обслуговування. А це може бути досягнуто за рахунок застосування надійних і високоефективних засобів діагностування технічного стану і прогнозування ресурсу роботи обладнання.

Аналіз роботи стрічкових конвеєрів, виконаний у ВО "Кривбасруда" показав, що близько 80% часу всіх простоїв у робочі зміни приходиться на ліквідацію відмов таких основних елементів конвеєра, як стрічка, електрообладнання, ролики, редуктор і барабани. Отже, ці елементи потребують постійного діагностування та прогнозування їх ресурсу.

Прогнозування потреби конвеєрного обладнання у ремонті дозволяє запобігти аварійних ситуацій, подовжити працездатність установки за рахунок зміни режимів роботи, підготуватися до поточного ремонту і виконати ремонт у запланований термін.

Аналіз досліджень та публікацій. Проведений аналіз наукових публікацій та досліджень, виконаних вітчизняними вченими [1-3,5,7] показав, що існуючі методи діагностування технічного стану та прогнозування працездатності конвеєрної установки недостатньо ефективні. Багато які з них вимагають зупинки устаткування на огляд, дослідження, що передбачає також часткову його розбірку. Методи діагностики, що застосовуються в авіаційній, суднобудівній та

нафтохімічної промисловості, мають високу ефективність і надійність. Однак, через складність використання, високу вартість та порушення працездатності у важких умовах гірничо-здобувачих підприємств, ці методи не доцільно використовувати для конвеєрних установок.

Нові можливості в роботі і застосуванні системи діагностики та прогнозування з'являються при експлуатації стрічкового конвеєра, забезпеченого регульованим приводом і автоматичною системою управління режимами транспортування [9,10,14].

У зв'язку з цим, нарізла необхідність повніше дослідити стрічковий конвеєр як об'єкт діагностування, розробити прогресивні і технічно реалізуємі способи і пристрої, на базі яких сформувати принципи автоматизованої системи діагностики та прогнозування. Економічна ефективність застосування автоматизованої системи діагностики і прогнозування ресурсу досягається за рахунок таких факторів як збільшення середнього часу між ремонтами, зростання продуктивності об'єкта обслуговування та зниження витрат на технічне обслуговування, фактичне усунення несподіваних відмов елементів обладнання, підвищення надійності і продуктивності, усунення вторинних поломок, зменшення тривалості ремонтів. Це призводить до підвищення коефіцієнта готовності на $0,015 \div 0,02$ і коефіцієнта використання на $0,02 \div 0,03$.

Постановка завдання. Таким чином, з аналізу розглянутих наукових публікацій видно, що прогнозування працездатності конвеєрної установки за рахунок створення автоматизованої системи діагностики та прогнозування технічного стану механізмів конвеєра і узгодження її роботи з автоматичною системою управління режимами транспортування є актуальним завданням.

Викладення матеріалу та результати. Для прогнозування зміни технічного стану вузла конвеєрного агрегату необхідно знати закономірність зміни критерію стану залежно від режимів транспортування і результати діагностування при зміні режимів при наявності системи автоматичного керування та прогнозування.

Технічний стан стрічкового конвеєра багато в чому залежить від справності роликів, що підтримують тяговий орган (стрічку). Ролики є найбільш численними елементом конвеєра, вихід з ладу 10-15% від їх загальної кількості значно підвищує енергоємність транспортування матеріалу, збільшує швидкість зносу верхньої і нижньої обкладок стрічки, погіршує умови експлуатації опорних конструкцій конвеєра (ролікоопор), оскільки стрічка при зустрічі з роликом, що не крутиться, надає ролікоопорі додаткове динамічне навантаження [8,10,15].

За даними УкрНІПроекта, отриманим на підприємствах вугільної та інших галузях гірничодобувної промисловості, вартість технічного обслуговування і ремонту роликів складає 28% всіх експлуатаційних витрат на стрічкові конвеєри. Фактичний ресурс роликів складає від 4 місяців до 2 років залежно від умов експлуатації та характеристик транспортується матеріалу. Несправний ролик видає підвищений шум у вигляді постукування, різких звуків періодичних підвищеної частоти. Коли сили тертя в підшипникових вузлах досягають значної величини, обичайки роликів перестають обертатися і дуже швидко зношуються рушійною стрічкою. Якщо зупинившийся ролик вчасно не замінити, на його корпусі утворюються гострі ріжучі кромки. Від них на стрічці виникають глибокі порізи. На потужних стрічкових конвеєрах великої протяжності контроль за станом роликів набуває особливого значення.

Під відмовою ролика в загальному випадку розуміється вихід з ладу осі, підшипників, ущільнень і корпусу, при цьому номінальний момент ролика збільшується в два і більше разів. Інтенсивність відмови для роликів

$$\lambda_p = \lambda_k + \lambda_o + \lambda_{nl} + \lambda_{nn} + \lambda_{yl} + \lambda_{yn},$$

де $\lambda_p, \lambda_k, \lambda_o, \lambda_{nl}, \lambda_{nn}, \lambda_{yl}, \lambda_{yn}$ – інтенсивність відмови відповідно корпусу, осі, лівого і правого підшипників, лівого і правого ущільнень.

Інтенсивність відмови усіх роликів конвеєра

$$\lambda = \sum n_p \lambda_{ps} + \sum (n_p/4) \lambda_{pn},$$

де $\lambda_{ps}, \lambda_{pn}$ – інтенсивність відмови відповідно роликів верхньої та нижньої гілок стрічки; n_p – кількість роликів верхньої гілки.

Завданням діагностики технічного стану роликів конвеєра, що експлуатують, є виявлення безпосередньо несправних роликів, а також їх місце розташування. Довговічність роликів стрічкових конвеєрів визначається величиною навантаження на окремі елементи роликів і точністю їх взаємної пригін, а також ефективністю дії ущільнень між взаємно-переміщуються елементами і якістю застосованої мастила.

Виділяються наступні основні ознаки ушкоджень ролика:

- 1 - пошкодження оболонки ролика;
- 2 - пошкодження підшипника кочення / або ковзання /;
- 3-пошкодження обичайки ролика;
- 4-пошкодження з'єднувальних поверхонь окремих елементів;
- 5 - пошкодження ущільнювальних прокладок
- 6 - пошкодження осей роликів;
- 7 - пошкодження опорних шийок;
- 8 - пошкодження підшипникових обойм.

Елементи опорних роликів можуть зазнавати пошкоджень як внаслідок зносу і тривалих навантажень, так і в результаті окремих силових впливів. На строк служби підшипникових вузлів істотно впливають циклічні навантаження, викликані вигином осі ролика при навантаженні і радіальним биттям при різностінності корпусу. При значенні неврівноваженою відцентрової сили, близької до статичного навантаження, з'являється знос шийок осей і підшипників.

Пошкодження роликів стрічкового конвеєра можна розділити на два види:

- 1) пошкодження викликані природним зносом елементів ролика;
- 2) пошкодження викликані внаслідок несправності окремих елементів конвеєра (вторинні поломки).

Основна причина передчасної відмови роликів - заклинювання підшипників через порушення роботи ущільнень, які зношуються в результаті попадання в підшипник атмосферних опадів, агресивного середовища, абразивних частинок транспортованого вантажу. У середньому 66% відмов роликів припадає на засмічення підшипників пилом і потрапляння в них вологи. Для роликів з кульковими підшипниками характерно збільшення кільцевих зазорів, а для роликів з конічними підшипниками - збільшення люфтів. Основними причинами виходу з ладу підшипників кочення при природному зносі є порушення жолобів, кілець і елементів кочення, що виникають від втоми матеріалу, а також знос робочих поверхонь.

Руйнування окремих елементів підшипника викликає зміну параметрів вібрації, підвищення температури, порушення робочої функції (тобто не обертання), опускання ролика щодо нормального положення. Всі ці відхилення від нормального технічного стану характеризуються відповідними діагностичними ознаками.

Аналіз діагностичних ознак технічного стану роликів, методів їх визначення, а також завдань, поставлених вище, дозволив виділити як найбільш надійний і точний – температурний метод.

При цьому діагностика несучих роликів стрічкового конвеєра здійснюється різними методами, основними з яких є використання теплових чи індуктивних датчиків з феромагнітних сплавів, які монтуються в стрічку, а також реалізація температурного контролю в запобіжній системі конвеєра.

Створення автоматизованої системи діагностики технічного стану устаткування стрічкового конвеєра з регульованим приводом викликало необхідність розробки нових способів діагностики роликів на основі обраної діагностичної ознаки. Спосіб полягає у визначенні і порівнянні температури поверхні стрічки і поверхні механізму, що закриває, датчика інфрачервоного випромінювання. При цьому виконуємо діагностичну зупинку конвеєра на заданий час для нагрівання поверхні стрічки несправними роликами, вимірювання температури навколишнього середовища і температуру стрічки під час подальшого діагностичного запуску конвеєра за допомогою датчика інфрачервоного випромінювання, вимірюємо кількість імпульсів, які відповідають проходженню міток, завданих на барабан конвеєра, з кроком, кратним відстані між його роликоспорами, визначаємо час, що минув з початку діагностичного запуску конвеєра, з урахуванням якого коректуємо величину температури нагрітої поверхні стрічки до величини, що характеризує початковий нагрів роликами, визначаємо відхилення скоригованої температури над температурою навколишнього середовища і порівнюємо його з гранично припустимим відхиленням, при цьому визначення наявності несправних роликів ведемо за перевищенням гранично допустимого відхилення, а визначення місця їх положення здійснюємо по кількості імпульсів. Як відомо, зменшення температури нагрітої поверхні в залежності від часу τ відбувається за експоненціальним законом

$$t_{\text{изм}} = t_{\text{наг}} e^{-\tau\alpha},$$

де стосовно до стрічкового конвеєру: $t_{изм}$ - вимірюється температура поверхні стрічки; $t_{наг}$ – температура нагріву частини стрічки від дефектних роликів; α – коефіцієнт, який характеризує швидкість охолодження поверхні; τ – час від початку діагностичного запуску до моменту вимірювання.

Тоді

$$T_{наг} = t_{изм} e^{-\tau\alpha}.$$

Урахування цього фактору дозволяє підвищити точність виявлення дефектних роликів, що особливо важливо на довгих конвеєрах, тому, що ділянки стрічки, нагріті дефектними роликами, просуваючись на заданій (зниженій) швидкості до місця установки датчика, охолоджуються і можуть досягти температури, яку, запобіжна система не враховуючи швидкості охолодження, може не виявити.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Аналіз діагностичних ознак технічного стану роликів, методів їх визначення, а також завдань, поставлених вище, дозволив виділити як найбільш надійний і точний – температурний метод.

При цьому діагностика несучих роликів стрічкового конвеєра здійснюється різними методами, основними з яких є використання теплових чи індуктивних датчиків з феромагнітних сплавів, які монтуються в стрічку, а також реалізація температурного контролю в запобіжній системі конвеєра. Для створення сучасних автоматизованих систем діагностики та керування стрічковим конвеєром використовувалося обладнання фірми Шнайдер Електрик.

Економічна ефективність застосування автоматизованої системи діагностики і прогнозування ресурсу досягається за рахунок таких факторів, як збільшення середнього часу між ремонтами, зростання продуктивності об'єкта обслуговування та зниження витрат на технічне обслуговування, фактичне усунення несподіваних несправностей, підвищення надійності і продуктивності, усунення вторинних несправностей, зменшення тривалості ремонтів. Створення автоматизованої системи діагностики технічного стану устаткування стрічкового конвеєра з регульованим приводом викликає необхідність розробки нових способів діагностики роликів на основі обраних діагностичних ознак.

Список літератури

1. Козярук А.Е. Диагностика и оценка остаточного ресурса электромеханического оборудования машин и механизмов / А.Е. Козярук, А.О. Кривенко, Ю.Л. Жуковский, С.В. Бабурин // СПб: Горный университет, 2019. - 90с.
2. Абрамов О.В. Прогнозирование состояния технических систем / О.В. Абрамов, А.Н. Розенбаум - М.: Наука, 1990. - 126с.
3. Коллакот А.Р. Диагностирование механического оборудования / А.Р. Коллакот Пер с англ. - Л.: Судостроение, 1980. - С.296.
4. Вибрация в технике: Справочник: В 6 т. Ред. совет: В.Н. Чэломат. -М.: Машиностроение, 1981. - т.4: Вибрационные процессы и машины /Под ред. Э.Э. Лавандела. -510 с.
5. Александров А.А. Вибрация и вибродиагностика судового электрооборудования/ А.А. Александров, А.В. Барков, Н.А. Баркова, В.А. Шафранский // Л.: Судостроение, 1986. - 276 с.
6. Монастырский Б.Ф. Экспериментальные исследования влияния технического состояния роликов и ленты на энергоёмкость транспортирования / Б.Ф. Монастырский, Й.И. Плахотник, А.Н. Смирнов, В.И. Бесчастный // Шахтный и карьерный транспорт. -М.: Недра, 1990. -Вып.11. -С.68-71.
7. Монастырский В.Ф. Прогнозирование технического состояния ленточных конвейеров при помощи диагностики / В.Ф. Монастырский, В.И. Плахотник // Шахтный и карьерный транспорт. - М.: Нздра, 1986.-Вып.10.-С.38-42.
8. Тиханський М.П. Методи й системи діагностики та прогнозування технічного стану стрічкових конвеєрів / М.П. Тиханський, Л.І. Єфіменко // Вісник КТУ. - 2008.-Вып.21. - С. 163-167.
9. Єфіменко Л.І. Принципи побудови автоматизованої системи діагностики технічного стану конвеєра / Л.І. Єфіменко, М.П. Тиханський // Вісник КТУ. - 2010.-Вып. 25. - С. 163-167.
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. Гуленко Г.Н. Совершенствование средств для предупреждения разрушения и контроля целостности конвейерных лент в СССР и за рубежом / Г.Н. Гуленко - М.: Черметинформация.- 1986.-37с.
12. Монастырский Б.Ф. Экспериментальные исследования влияния технического состояния роликов и ленты на энергоёмкость транспортирования / Б.Ф. Монастырский, Й.И. Плахотник, А.Н. Смирнов, В.И. Бесчастный //Шахтный и карьерный транспорт.- М.: Недра, 1990.-Вып.11.-С.68-71.
13. Монастырский В.Ф. Прогнозирование технического состояния ленточных конвейеров при помощи диагностики / Б.Ф. Монастырский, Й.И. Плахотник //Шахтный и карьерный транспорт.- М.: Недра,1986.-Вып.10.-С.38-42.
14. Liudmyla Yefimenko, Mykhailo Tykhanskyi (2015). Information systems in the technological processes automatic control development by technical condition criterion. Metallurgical and Mining Industry. No 1, p.p.28-31
15. Liudmyla Yefimenko, Mykhailo Tykhanskyi (2015). Analysis of the defect diagnostics methods and scanning for instructive parameters of the belt conveyor's gear. Metallurgical and Mining Industry. No 4, p.p.39-44

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

АНОТАЦІЇ

УДК 622.234.4: 622.349.5: 622.831

Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О.В. Дослідження трансформації напружено-деформованого стану масиву при відпрацюванні покладу камерними системами розробки з закладкою камер відходами гірничого виробництва

Мета. Метою даної роботи є аналіз дослідження еволюції напружено-деформованого стану масиву при відпрацюванні покладу камерними системами розробки з закладкою виробленого простору відходами гірничого виробництва.

Методи дослідження. Детальний техніко-економічний аналіз і дослідження факторів і умов, що впливають на ефективність діагностування і обліку силових взаємодій і трансформацій природного і штучного полів напружень при формуванні очисних камер і їх наступній закладці відходами гірничого виробництва виконувались математичними методами із застосуванням методу кінцевих елементів та програмного комплексу Ansys 16.2.

Стан і параметри напружено-деформованого стану масиву на ділянці рудного покладу досліджувався з урахуванням етапного характеру навантаження гірських порід. Кількість розрахункових етапів в дослідженні приймалася аналогічною кількості технологічних циклів очисних робіт при відпрацюванні шахтного поля.

Наукова новизна. Дослідженнями встановлені нові закономірності змін напружено-деформованого стану масиву при початковому, проміжному та кінцевому етапах відпрацювання камер на ділянці, що діагностується.

Встановлена величина інверсії вертикальних деформацій гірського масиву при поетапному відпрацюванні та наступному заповненні камери подрібненими пустими породами, що дозволяє встановити закономірності впливу об'ємного стиснення на стійкість комбінованих штучних масивів.

Практична значимість. Виконаними дослідженнями розроблена та запропонована ефективна технологія відпрацювання та закладки камер відходами виробництва, що дозволяє утилізувати відходи гірничо-металургійних підприємств у відпрацьованому підземному просторі камер другої черги.

Результати. На підставі виконаних досліджень та встановлених залежностей запропоновані оптимальні варіанти технології закладки камер другої черги пустими породами. Запропонована технологія забезпечує необхідну несучу здатність штучних ціликів твердіючої закладки камер першої черги, оскільки створює умови об'ємного стиснення для всього комбінованого закладного масиву та дозволяє утилізувати відходи гірничо-металургійних підприємств у відпрацьованому підземному просторі камер другої черги, вирішуючи одну з головних екологічних проблем Криворізького залізорудного басейну.

Ключові слова: руда, камерні системи, закладка, напруження, деформації, вплив на довкілля.

Ступник Н.И., Калининченко В.А., Калининченко Е.В. Исследование динамики трансформации напряженно-деформированного состояния массива при отработке залежей камерными системами разработки с закладкой камер отходами горного производства

Цель. Целью данной работы является анализ и исследование напряженно-деформированного состояния массива при отработке залежи камерными системами разработки с закладкой выработанного пространства отходами горного производства.

Методы исследования. В представленной работе выполнен детальный технико-экономический анализ факторов и условий, влияющих на эффективность диагностирования и учета силовых взаимодействий и трансформаций искусственного поля напряжений при отработке залежи камерными системами разработки с закладкой камер отходами горного производства. Исследования выполнялись математическими методами с применением метода конечных элементов и программного комплекса Ansys 16.2.

Влияние напряженно-деформированного состояния массива на участке рудной залежи исследовалось с учетом этапного характера нагрузки горных пород. Количество расчетных этапов в исследовании принималось аналогично количеству технологических циклов отработки шахтного поля.

Научная новизна. Аналитическими исследованиями определены новые закономерности и установлены зависимости трансформации напряженно-деформированного состояния массива при начальном, промежуточном и конечном этапе отработки камер на диагностируемом участке.

Установленная величина инверсии вертикальных деформаций горного массива при этапной отработке и заполнении камеры измельченными пустыми породами, позволяет установить ключевые закономерности влияния объемного сжатия на устойчивость комбинированных искусственных массивов.

Практическая значимость. Выполненными исследованиями разработана и предложена высокоэффективная технология отработки и закладки камер отходами производства, что позволяет утилизировать отходы горно-металлургических предприятий в отработанном подземном пространстве камер второй очереди.

Результаты. На основании выполненных исследований и установленных зависимостей предложены оптимальные варианты технологии закладки камер второй очереди пустыми породами. Предложенная технология обеспечивает несущую способность искусственных целиков твердеющей закладки камер первой очереди, поскольку создает условия объемного сжатия для всего комбинированного закладочного массива и позволяет утилизировать отходы горно-металлургических предприятий в отработанном подземном пространстве камер второй очереди, решая одну из главных экологических проблем Криворожского железорудного бассейна.

Ключевые слова: руда, камерные системы, закладка, напряжения, деформации.

Stupnik N.I., Kalinichenko V.A., Kalinichenko E.V. Study of the stress-strain state transformation when mining by room systems and backfilling stopes with mining waste

Purpose. The paper is aimed at analyzing and studying the stress-strain state of the massif when mining by room systems and backfilling the dead area with mining waste.

Research methods. The paper conducts the technical and economic analysis of factors impacting efficiency of diagnosing and accounting force interactions and transformations of the artificial stress field when mining by room systems and

backfilling the dead area with mining waste. The research was conducted using the mathematical methods with the finite element method on the basis of Ansys 16.2.

The stress-strain state of the massif on the ore body area was studied considering the stage character of the rock load. The number of calculation stages was accepted equal to the number of technological cycles of mining the underground mine field. **Scientific novelty.** Analytical studies determined new regularities and defined dependencies of the stress-strain state transformations on the starting, intermediate and final stages of mining by room systems on the area under study.

The determined value of the rock vertical strain inversion at stage mining and backfilling with crushed waste rocks enables establishing key regularities of the impact of triaxial compression on stability of combined artificial massifs.

Practical relevance. The study conducted enabled development of the highly efficient technology of mining by room systems and backfilling stopes with production wastes that enables disposal of mining and metallurgical wastes in dead underground areas of the II stage stopes.

Results. The conducted studies and determined dependencies enable suggesting optimal options of the technology of backfilling the II-stage stopes with wastes. The suggested technology provides the bearing capacity of artificial pillars of consolidating backfill of the I-stage stopes as it creates conditions for triaxial compression for the whole combined massif. Also, it enables disposal of mining and metallurgical wastes in dead underground areas of stopes and solves one of the principal environmental problems of Kryvyi Rih iron ore basin.

Keywords: ore, room systems, backfilling, stresses, strains.

УДК 622.7:658.5

Моркун В. С., Моркун Н. В., Тронь В. В., Сердюк О. Ю. Формування сепараційної характеристики процесу згущення рудної сировини на основі методу модельного прогнозного керування

Метою дослідження є формування оптимальної сепараційної характеристики технологічних збагачувальних процесів на основі оперативної інформації про динаміку їх параметрів на прикладі процесу згущення рудної сировини.

Методи дослідження. У роботі використано такі методи: аналіз вітчизняного і закордонного досвіду; методи математичної статистики і теорії імовірності для оброблення результатів експериментів; методи аналітичного конструювання і комп'ютерного моделювання; методи модельного прогнозного керування при розробці алгоритмів керування процесом згущення; методи чисельного моделювання для синтезу і аналізу математичної моделі.

Наукова новизна полягає у визначенні оптимальних з точки зору якості керування значень горизонту керування та горизонту прогнозування одноканальної системи модельного прогнозного керування процесом згущення рудної сировини.

Практичне значення полягає у розробленні методики і програмного забезпечення для визначення оптимальних з точки зору якості керування значень горизонту керування та горизонту прогнозування одноканальної системи модельного прогнозного керування процесом згущення рудної сировини. Зазначене дозволяє оптимізувати сепараційну характеристику процесу згущення рудної сировини.

Результати. Для формування сепараційної характеристики процесу згущення рудної сировини на основі методу модельного прогнозного керування для одноканальної системи керування процесом згущення задовільні результати керування забезпечуються встановленням горизонту керування таким, що дорівнює 1 інтервал. За даного значення квадратична помилка керування не перевищує 0,1452–0,1474. Подальше збільшення горизонту прогнозування є недоцільним, оскільки не дозволяє суттєво зменшити квадратичну помилку керування. Водночас, достатнім значенням горизонту прогнозування є величина 3–5 інтервалів. Такі значення обумовлюються тим, що зростання обчислювальної складності процесу прогнозування на 10–20 інтервалів призводить до незначного зменшення квадратичної помилки керування.

Ключові слова: модельне прогнозує керування, оптимізація, згущення рудної сировини, сепараційна характеристика

Моркун В. С., Моркун Н. В., Тронь В. В., Сердюк О. Ю. Формирование сепарационной характеристики процесса сгущения рудного сырья на основе метода модельного прогнозирующего управления.

Целью исследования является формирование оптимальной сепарационной характеристики технологических обогащительных процессов на основе оперативной информации о динамике их параметров на примере процесса сгущения рудного сырья.

Методы исследования. В работе использованы следующие методы: анализ отечественного и зарубежного опыта; методы математической статистики и теории вероятности для обработки результатов экспериментов; методы аналитического конструирования и компьютерного моделирования; методы модельного прогнозирующего управления при разработке алгоритмов управления процессом сгущения; методы численного моделирования для синтеза и анализа математической модели.

Научная новизна заключается в определении оптимальных с точки зрения качества управления значений горизонта управления и горизонта прогнозирования одноканальной системы модельного прогнозирующего управления процессом сгущения рудного сырья.

Практическое значение состоит в разработке методики и программного обеспечения для определения оптимальных с точки зрения качества управления значений горизонта управления и горизонта прогнозирования одноканальной системы модельного прогнозирующего управления процессом сгущения рудного сырья. Указанное позволяет оптимизировать сепарационную характеристику процесса сгущения рудного сырья.

Результаты. Для формирования сепарационной характеристики процесса сгущения рудного сырья на основе метода модельного прогнозирующего управления для одноканальной системы управления процессом сгущения удовлетворительные результаты управления обеспечиваются установкой горизонта управления равным 1 интервал. По данному значению квадратичная ошибка управления не превышает 0,1452–0,1474. Дальнейшее увеличение горизонта прогнозирования нецелесообразно, поскольку не позволяет существенно уменьшить квадратичную ошибку управления. В то же время, достаточным значением горизонта прогнозирования является величина 3–5 интервалов. Такие

значения обуславливаются тем, что рост вычислительной сложности процесса прогнозирования на 10-20 интервалов приводит к незначительному уменьшению квадратичной ошибки управления.

Ключевые слова: модельное прогнозирующая управление, оптимизация, сгущения рудного сырья, сепарационная характеристика

Morkun V. S., Morkun N. V., Tron V. V., Serdiuk O. Yu. Formation of the separation characteristic of the raw ore materials thickening process based on the model predictive control method.

The purpose of the research is to form an optimal separation characteristic of technological enrichment processes based on operational information on the dynamics of their parameters, on the example of the process of thickening of ore raw materials.

Methods of research. The following methods are used in the work: analysis of domestic and foreign experience; methods of mathematical statistics and probability theory for processing the results of experiments; methods of analytical design and computer simulation; methods of model predictive control in the development of control algorithms for the process of thickening; numerical simulation methods for synthesis and analysis of mathematical model.

The scientific novelty consists in determining the optimal in terms of quality control of the values of the control horizon and the prediction horizon for a one-channel system of model predictive control of the process of thickening of ore raw materials.

Practical value consists in the development of methods and software for determining the control horizon and the prediction horizon values of the single-channel system of the model predictive control of the process of thickening of ore raw materials that are optimal from the point of view of quality control. This allows you to optimize the separation characteristics of the process of thickening the ore raw materials.

Results To form a separation characteristic of the process of thickening of ore raw materials on the basis of the model predictive control for the one-channel control system of the thickening process, satisfactory control results was achieved by setting the control horizon equal to 1 interval. For this value, the quadratic control error does not exceed 0.1452-0.1474. Further increase in the prediction horizon is not feasible since it does not allow to significantly reduce the quadratic control error. At the same time, the magnitude of 3-5 intervals is sufficient for forecasting horizons. Such values are due to the fact that the increase in the computational complexity of the forecasting process by 10-20 intervals leads to a slight decrease in the quadratic control error.

Keywords: model predictive control, optimization, thickening of ore raw materials, separation characteristic.

УДК 681.2.088-049.6:[622.012:658.562]

Бровко Д.В., Хворост В.В., Тищенко В.Ю. Коригування рівнів надійності при встановленні часу безпечної експлуатації об'єктів поверхні шахт пов'язаних з основним виробничим процесом

Мета. Створення одного з методів оцінки технічного стану елементів конструкцій будівель і споруд поверхні шахт, що дозволяє звести до мінімуму коригування рівнів надійності, та встановити високий рівень безпеки об'єктів поверхні шахт.

Методика. При проведенні досліджень застосовані методи експертної і ймовірносно-статистичної кваліметрії. У першому випадку оцінки даються експертами або автоматизованими експертними системами, а в другому використовуються методи теорії ймовірностей і математичної статистики, оцінюючи однорідність сукупності вибірок і збіг законів розподілу.

Результати. Отримано модель, що дозволяє визначити стан будівлі, що експлуатується, у вигляді залежності зносу несучих конструкцій об'єкту від величини його рівня живучості. Визначені порогові значення ступенів живучості, при досягненні яких об'єкт поверхні шахт переходить у якісно інший стан – з нормального в задовільний, задовільного у непридатний, а з непридатного в аварійний.

Наукова новизна. Наукова новизна запропонованого в роботі методу – адекватний опис технічного стану елементів конструкцій будівель і споруд поверхні шахт, який займе свою нішу серед нових сучасних експериментальних досліджень матеріалів і конструкцій об'єктів поверхні.

Практична значимість. Створення методу кваліметричної оцінки, що дозволяє визначити ступінь живучості об'єкта на певний момент часу, вид технічного стану і безпечний залишковий ресурс. В результаті проведення запропонованих заходів підвищується рівень безпеки промислового об'єкта, що тягне за собою збереження як матеріальних активів, так і життя працівників підприємства.

Ключові слова: объекты поверхности шахт, надежность, живучесть, кваліметрическая оценка

Бровко Д.В., Хворост В.В., Тищенко В.Ю. Корректировка уровней надежности при установлении времени безопасной эксплуатации объектов поверхности шахт связанных с основным производственным процессом

Цель. Создание одного из методов оценки технического состояния элементов конструкций зданий и сооружений поверхности шахт позволяющего свести к минимуму корректировки уровней надежности, а также установить высокий уровень безопасности объектов поверхности шахт.

Методика. Разработана аналитическая модель определения величины физического износа эксплуатируемого здания на момент времени, при котором произведена диагностика технического состояния объекта поверхности шахт и найдена величина его фактической степени живучести. Для определения стандартных уровней надежности объект представляется в виде системы, состоящей из иерархически последовательно соединенных групп однотипных несущих элементов. При моделировании учтены основные параметры: фактическое состояние и степень живучести элементов конструкций на момент проведения их обследования.

Результаты. Получена модель закона состояния эксплуатируемого здания в виде зависимости износа несущих конструкций здания от величины его степени живучести. Определены пороговые значения степени живучести, при достижении которых объект поверхности шахт переходит в качественно иное состояние – из нормального в удовлетворительное, из удовлетворительного в непригодное, а из непригодного в аварийное. Предложенная методика оценки безопасности эксплуатируемых зданий и сооружений поверхности может быть использована на практике для оценки степени живучести, вида технического состояния и безопасного остаточного ресурса.

Научная новизна. Научная новизна предложенного в работе метода – адекватное описание технического состояния элементов конструкций зданий и сооружений поверхности шахт, который займет свою нишу среди новых современных экспериментальных исследований материалов и конструкций объектов поверхности.

Практическая значимость. Создание метода, который позволяет определять степень живучести объекта на определенный момент времени, вид технического состояния и безопасный остаточный ресурс. В результате проведения предложенных мероприятий повышается уровень безопасности эксплуатируемого объекта, что влечет за собой сохранение как материальных активов, так и жизни работников предприятия.

Ключевые слова: объекты поверхности шахт, надежность, живучесть, квалиметрическая оценка

Brovko D.V., Khvorost V.V., Tyshchenko V.Yu. Reliability correction when determining safe operation of mine surface objects related to the basic production process

Purpose. To develop the method for determining the technical condition of the structural elements of surface mine objects, which allows for minimum correction in reliability levels and ensures the highest safety standards of the mine facilities.

Research methods. An analytical model for determining the building physical wear at a diagnostics of the mine surface object was developed, and its actual survivability was found. In order to determine the standard reliability levels, the object is represented as a system of hierarchically sequentially connected groups of bearing elements of the same type. When modeling, the main parameters like the actual state and the survivability degree of the structural elements were considered.

The scientific novelty of the method proposed consists in an adequate description of the technical state of the bearing elements of buildings and mine facilities, which takes its place among the new modern experimental studies of materials and structures of surface objects.

Practical value. The method enables to determine the object survivability at diagnostics, its technical state and safe residual resource. The mentioned activities increase safety of the operated facility, hence, ensure the preservation of both lives of the company's employees and tangible assets.

Results. A model law of the building state is obtained in the form of the dependence of the wear of the bearing elements on its survivability. The threshold values of survivability are determined, at which the surface mine object passes into a qualitatively different state - from normal to satisfactory, from satisfactory to unsuitable, and from unsuitable to emergency. The proposed methodology for assessing safety of the operated buildings and surface structures can be used in practice to assess the degree of survivability, the type of technical state and a safe residual resource.

Keywords: mine surface objects, reliability, survivability, qualimetric assessment.

УДК 624.03

Колесніченко С.В., Селютін Ю.В., Мнацаканян К.Б. Вимоги до експертів з технічного обстеження будівель і споруд

Мета. Метою даної роботи є запропонувати переглянути стандартні вимоги до фахової кваліфікації претендента на проходження професійної атестації за видом робіт «Експертиза та обстеження у будівництві» та «Технічного нагляду». Ввести регулярне проходження експертами курсів підвищення кваліфікації за фахом. Запропонувати внесення категорій до сертифікату експерта з обстеження так як у сертифікації експерта з технічного нагляду, залежно від класу наслідків об'єкта будівництва.

Методи дослідження. Аналіз кваліфікаційних вимог, а саме їх достатність, до виконавців робіт для проходження професійної атестації за видом робіт експерт з обстеження будівель і споруд.

Наукова новизна. Для експерта з обстеження можливо запропонувати категорії сертифікату, які визначені як для технічного нагляду – категорія сертифіката залежить від класу наслідків об'єкта будівництва. Перша категорія для класів СС1 та СС2. Друга категорія - для всіх класів наслідків.

Практична значимість. Проведений аналіз фахової підготовки експертів дозволяє подекуди розширити, а подекуди повністю змінити перелік тем або компетенцій знань для експертів з обстеження. Тематику підвищення кваліфікації та ступені складності навчання для цієї категорії експертів потрібно компанувати залежно від типу підготовки та категорії сертифікату.

Результати. Запропоновані основні теми фахової підготовки експертів, які залежать від ступеня складності навчання (враховується тип підготовки – первинна або підвищення кваліфікації) та категорії сертифікату. На базі цих тем формується перелік питань для складання фахового іспиту.

Ключові слова: експерти, фахова підготовка, сертифікат, категорії, обстеження, будівлі, споруди.

Колесніченко С.В., Селютін Ю.В., Мнацаканян К.Б. Требования к экспертам по техническому обследованию зданий и сооружений

Цель. Цель данной работы предложить пересмотреть стандартные требования к профессиональной квалификации претендента на прохождение профессиональной аттестации по виду работ «Экспертиза и обследование в строительстве» и «Технического надзора». Ввести регулярное прохождение экспертами курсов повышения квалификации по специальности. Предложить внесение категорий к сертификату эксперта по обследованию так как в сертификации эксперта по техническому надзору, в зависимости от класса последствий объекта строительства.

Методы исследования. Анализ квалификационных требований, а именно их достаточность, к исполнителям работ, для прохождения профессиональной аттестации по виду работ «экспертиза и обследование в строительстве» и «технический надзор».

Научная новизна. Для эксперта по обследованию можно предложить категории сертификата, которые определены для технического надзора - категория сертификата зависит от класса последствий объекта строительства. Первая категория для классов СС1 и СС2. Вторая категория - для всех классов последствий.

Практическая значимость. Проведенный анализ профессиональной подготовки экспертов позволяет расширить, а в некоторых случаях, полностью изменить перечень тем или компетенций знаний для экспертов по обследованию и техническому надзору. Тематику повышения квалификации и степени сложности обучения для этой категории экспертов нужно компоновать в зависимости от типа подготовки и категории сертификатов.

Результаты. Предложены новые темы профессиональной подготовки экспертов, которые зависят от степени сложности обучения (учитывается тип подготовки - первичная или повышение квалификации) и категории сертификата. На базе этих тем формируется перечень вопросов для составления профессионального экзамена.

Ключевые слова: эксперты, профессиональная подготовка, сертификат, категории, обследование, здания, сооружения.

Kolesnichenko S.V., Mnacakanian K.B., Seliutyn Y.V. Requirements to technical inspection experts of buildings and structures

Purpose. To review the standard requirements to the qualification of an applicant for the professional certification in the 'Examination and Inspection in Construction' and 'Technical Supervision' types of work. To introduce for the experts regular taking of advanced training courses in the specialty. To propose the introduction of categories to the certificate of technical supervision, depending on the consequences class of the construction object.

Research methods. The analysis of the qualification requirements, namely their sufficiency, to the works performers for completing professional certification in the 'Examination and Inspection in Construction' and 'Technical Supervision' type of work.

Scientific novelty. For an inspection expert, it may be proposed to work out certificate categories that are determined for technical supervision — the category of certificate depends on the consequences class of the construction object. The first category is for CC1 and CC2 classes. The second category is for all classes of consequences.

Practical value. The analysis of the professional training of experts allows to expand and to completely change the list of knowledge topics or competences for experts in inspection and technical supervision. The subject of advanced training and the level of training complexity of this category of experts is to be arranged depending on the type of training and category of certificates.

Results. New professional topics for preparing experts that depend on the level of training complexity (the type of training is taken into account - primary or advanced training) and the category of certificate are proposed. On the basis of these topics, the questions list for professional exam preparation is made up.

Keywords: experts, professional training, certificate, categories, inspection, buildings, structures.

УДК 621.311.1

Бойко С.М., Синчук І.О., Сінолицький А.П., Несмашний Є.О., Дозоренко О.В. Особливості прогнозування рівнів енергоспоживання в умовах розподільчих електричних мереж залізорудних підприємств

Мета. Метою даної роботи є аналіз особливостей прогнозування рівнів електроспоживання в умовах залізорудних підприємств при впровадженні розподільчих електричних мереж з відновлювальними джерелами електроенергії, на основі аналізу графіків прогнозу генерації енергетичними установками на базі відновлювальних джерел енергії в умовах залізорудних підприємств та процесу електроспоживання приймачами цих підприємств.

Методи дослідження. У статті для прогнозування рівнів електроенергоспоживання приймачами залізорудних підприємств при впровадженні в існуючі структури систем електропостачання відновлюваних джерел енергії використовувався метод штучних нейронних мереж.

Наукова новизна полягає в тому, що запропоновано прогнозувати рівні енергоспоживання за допомогою нейронних мереж в умовах розподільчих мереж залізорудних підприємств та при впровадженні в їх структуру відновлювальних джерел енергії.

Практична значимість. Фактори, що впливають на ефективність погодинного прогнозу, включають прогнозний горизонт, місцеві погодні умови, географічне охоплення, доступність, якість даних та інші. З огляду на той факт, що система електропостачання залізорудного підприємства планується бути комбінованою – це ускладнює процес прогнозування електроспоживання, оскільки із загальної спожитої електричної енергії необхідно відняти власну згенеровану електричну енергію. На сьогодні розроблено велику кількість методів прогнозування електроспоживання, проте не існує універсального методу, так як об'єкт прогнозування, має унікальний характер електроспоживання і складні залежності між електроспоживанням і факторами, що на них впливають. Тому обґрунтовано, що при короткостроковому і довгостроковому прогнозуванні слід надавати перевагу штучним нейронним мережам, що покращить точність прогнозної функції в умовах багатofакторності.

Результати. Запропоновано підхід до вирішення цієї проблеми, який базується на реалізації прогнозної моделі для оцінки очікуваних рівнів електроспоживання з врахуванням функціонування в структурі систем автономних джерел генерації електричної енергії на основі відновлювальних джерел електроенергії. Запропоновано тактику оцінювання існуючих та очікуваних рівнів споживання електроенергії приймачами залізорудних підприємств з підземним способом видобутку залізорудної сировини, з подальшим втіленням цього процесу в структуру керування процесом електроспоживання. Це дозволить підприємствам збільшити енергоефективність та зменшити витрати на споживану електроенергію.

Ключові слова: електропостачання, електроспоживання, прогнозування, відновлювані джерела енергії, штучні нейронні мережі.

Бойко С.М., Синчук І.О., Сінолицький А.П., Несмашний Є.О., Дозоренко О.В. Особенности прогнозирования уровней энергопотребления в условиях распределительных электрических сетей железорудных предприятий

Цель. Целью данной работы является анализ особенностей прогнозирования уровней электропотребления в условиях железорудных предприятий при внедрении распределительных электрических сетей с возобновляемыми источниками электроэнергии, на основе анализа графиков прогноза генерации энергетическими установками на базе возобновляемых источников энергии в условиях железорудных предприятий и процесса электропотребления приемниками этих предприятий.

Методы исследования. В статье для прогнозирования уровней электроенергоспоживання приемниками железорудных предприятий при внедрении в существующие структуры систем электроснабжения возобновляемых источников энергии использовался метод искусственных нейронных сетей.

Научная новизна заключается в том, что предложено прогнозировать уровни энергопотребления с помощью нейронных сетей в условиях распределительных сетей железорудных предприятий и при внедрении в их структуру возобновляемых источников энергии.

Практическая значимость. Факторы, влияющие на эффективность почасового прогноза, включают прогнозный горизонт, местные погодные условия, географический охват, доступность, качество данных и другие. Учитывая тот факт, что система электроснабжения железорудного предприятия планируется быть комбинированной – это усложняет процесс прогнозирования электропотребления, поскольку из общей потребленной электрической энергии необходимо отнимать собственную сгенерированную электрическую энергию. На сегодня разработано большое количество методов прогнозирования электропотребления, однако не существует универсального метода, так как объект прогнозирования, имеет уникальный характер электропотребления и сложные зависимости между электропотреблением и факторами, которые на него влияют. Поэтому обоснованно, что при краткосрочном и долгосрочном прогнозировании следует отдавать предпочтение искусственным нейронным сетям, что улучшит точность прогнозной функции в условиях многофакторности.

Результаты. Предложен подход к решению этой проблемы, основанный на реализации прогнозной модели для оценки ожидаемых уровней электропотребления с учетом функционирования в структуре систем автономных источников генерации электрической энергии на основе возобновляемых источников электроэнергии. Предложено тактику оценки существующих и ожидаемых уровней потребления электроэнергии приемниками железорудных предприятий с подземным способом добычи железорудного сырья, с последующим воплощением этого процесса в структуру управления процессом электропотребления. Это позволит предприятиям увеличить энергоэффективность и снизить затраты на потребляемую электроэнергию.

Ключевые слова: электроснабжение, электропотребление, прогнозирование, возобновляемые источники энергии, искусственные нейронные сети.

Boyko S.M., Sinchuk I.O., Sinolitsyi A.P., Neshashny E.O., Dozorenko O.V. Forecasting levels of energy consumption in the distributive electric networks of iron-ore enterprises

Purpose. To analyze the characteristics of forecasting power consumption levels in iron ore enterprises when introducing distribution electrical networks with renewable sources of electricity based on the analysis of forecast schedules for generation by power plants based on renewable energy sources in iron ore enterprises and the power consumption process of these enterprises.

Research methods. The method of artificial neural networks was used to predict the levels of electrical energy produced by receivers of iron ore enterprises when introducing renewable energy sources into the current structures of the power supply systems.

Scientific novelty. It was proposed to predict the levels of energy consumption using neural networks in the distribution networks of iron ore enterprises and when introducing renewable energy sources into their structure.

Practical utility. The factors affecting the effectiveness of the hourly forecast include the forecast horizon, local weather conditions, geographic coverage, availability, data quality, and others. Given the fact that the iron ore company's electricity supply system is planned to be combined, it complicates the process of forecasting electricity consumption, since it is necessary to subtract from the total electricity consumed its own generated electrical energy. To date, a large number of methods for forecasting electricity consumption have been developed, but there is no universal method, as the object of forecasting, has a unique nature of electrical consumption and the complex relationship between power consumption and factors affecting them. Therefore, it is substantiated that short-term and long-term prediction should be preferred to artificial neural networks, which will improve the accuracy of the predictive function in multifactor conditions.

Results. An approach to solving this problem is proposed, based on the implementation of a predictive model for estimating the expected levels of power consumption taking into account the functioning of autonomous sources of electric power generation based on renewable sources of electricity in the structure of systems. A tactic has been proposed for evaluating existing and expected levels of electricity consumption by receivers of iron ore enterprises with an underground method of extracting iron ore raw materials, with the subsequent embodiment of this process in the structure of managing the process of electrical consumption. This will allow enterprises to increase energy efficiency and reduce the cost of electricity consumed.

Keywords: power supply, power consumption, forecasting, renewable energy sources, artificial neural networks.

УДК 622.271

Перегудов В.В., Григор'єв І.С., Григор'єв Ю.І. Дослідження взаємозв'язків параметрів техногенних родовищ насипного типу

Мета. Стан відкритих гірничих робіт, що склався на вітчизняних підприємствах, а також кон'юнктура на ринку мінеральної сировини вимагають пошуку нових, економічно доцільніших підходів до ведення відкритих гірничих робіт. Таким підходом є комплексне освоєння надр, що сприяє покращенню техніко-економічних показників роботи гірничо-видобувних підприємств. Цілеспрямоване формування техногенних родовищ із необхідними параметрами і подальше їх відпрацювання є одним з основних напрямів комплексного освоєння, а визначення цих параметрів і дослідження їх взаємозв'язків є науковою задачею даної публікації.

Методи. В роботі було використано методи патентного пошуку, аналізу літературних джерел для вивчення технології формування і відпрацювання техногенного родовища, регресійного аналізу і математичного моделювання головних параметрів техногенного родовища.

Наукова новизна. В роботі досліджено залежності оптимальних значень місткості та виробничої потужності техногенного родовища, що забезпечують найкращі техніко-економічні показники формування та відпрацювання техногенного родовища. Доведено, що питома собівартість формування та відпрацювання техногенного родовища знаходяться у прямій залежності від його місткості і зворотній – від виробничої потужності. Виявлено, що місткість техногенного родовища має більший вплив на питому собівартість формування та відпрацювання техногенного родо-

вища, ніж його виробнича потужність. Виконано математичне моделювання головних параметрів техногенного родовища.

Практична значимість. Отримані результати досліджень головних параметрів техногенних родовищ можуть бути використані проектними організаціями і гірничодобувними підприємствами при проектуванні. Математичні залежності дозволять більш ґрунтовно визначити головні параметри техногенних родовищ і підвищити точність технічних рішень проектних інститутів.

Ключові слова: техногенне родовище, собівартість формування і відпрацювання техногенного родовища, місткість техногенного родовища, виробнича потужність техногенного родовища, математична модель, регресійний аналіз.

Перегудов В.В., Григорьев И.Е., Григорьев Ю.И. Исследование взаимосвязи параметров техногенных месторождений насыпного типа

Цель. Состояние открытых горных работ, сложившееся на отечественных предприятиях, а также конъюнктура на рынке минерального сырья требуют поиска новых, экономически целесообразных подходов к ведению открытых горных работ. Таким подходом является комплексное освоение недр, которое способствует улучшению технико-экономических показателей работы горнодобывающих предприятий. Целенаправленное формирование техногенных месторождений с необходимыми параметрами и дальнейшая их отработка является одним из основных направлений комплексного освоения недр, а определение этих параметров и исследование их взаимосвязей определяет научную задачу данной публикации.

Методы. В работе были использованы методы патентного поиска, анализа литературных источников для изучения технологий формирования и отработки техногенного месторождения, методы регрессионного анализа и математического моделирования главных параметров техногенного месторождения.

Научная новизна. В работе исследованы зависимости оптимальных значений емкости и производственной мощности техногенного месторождения, обеспечивающие лучшие технико-экономические показатели формирования и отработки техногенного месторождения. Доказано, что удельная себестоимость формирования и отработки техногенного месторождения находится в прямой зависимости от его емкости и обратной - от производственной мощности. Выявлено, что емкость техногенного месторождения имеет большее влияние на удельную себестоимость формирования и отработки техногенного месторождения, чем его производственная мощность. Выполнено математическое моделирование главных параметров техногенного месторождения.

Практическая значимость. Полученные результаты исследований основных характеристик техногенных месторождений могут быть использованы проектными организациями и горнодобывающими предприятиями при проектировании. Математические зависимости позволят более обоснованно определять основные параметры техногенных месторождений и повысят точность технических решений проектных институтов.

Ключевые слова: техногенное месторождение, себестоимость формирования и отработки техногенного месторождения, ёмкость техногенного месторождения, производственная мощность техногенного месторождения, математическая модель, регрессионный анализ.

Peregudov V.V., Hryhoriev I. E., Hryhoriev Yu. I. Interaction of technogenic deposits parameters developments of a bulk type

Purpose. The state of open-pit mining at ukrainian enterprises, as well as the state of the mineral raw materials market require the search for new, more economically feasible approaches to open mining operations. This approach is a comprehensive development of mineral resources, which contributes to improving the technical and economic performance of mining enterprises. The purposeful formation of man-made deposits with the necessary parameters and their further development is one of the main directions of complex development, and the definition of these parameters and the study of their interactions is the scientific task of this publication.

Methods. Patent search, analysis of the literary sources on formation and development of technogenic deposits, regression analysis and mathematical modeling of the main parameters of the technogenic deposit are used in the paper.

Scientific novelty. The dependences of optimal volumes of technogenic deposit and its production capacity are investigated, providing the best technical and economic indicators of formation and development of technogenic deposits. It is proved that the specific cost of forming and working out the technogenic deposit is in direct relation to its volume and the inverse - from the production capacity. It was discovered that the capacity of the technogenic deposit has a greater impact on the specific cost of forming and working out the technogenic deposit than its production capacity.

Practical significance. The mathematical modeling of the main parameters of the man-made deposit is fulfilled. The obtained results of the main parameters of technogenic deposits can be used by project organizations and mining enterprises in the design. Mathematical dependencies allow to more thoroughly determine the main parameters of technogenic deposits and increase the accuracy of technical solutions of design institutes.

Keywords: technogenic deposit, cost of formation and development of technogenic deposit, volume of technogenic deposit, production capacity of technogenic deposit, mathematical model, regression analysis.

УДК 666.76.001.2

Тишук В.Ю., Ковальова І.Б., Бобров М.Д., Кривенко Т.А. Захист повітря від шкідливих викидів амоніаку в коксохімічному виробництві

Мета. Метою даної роботи є розробка ефективних засобів очистки коксових газів від амоніаку коксохімічних виробництв на основі використання існуючих та розроблених нових засобів уловлювання та нейтралізації амоніаку, який є сильно діючою отруйною речовиною, небезпечний при вдиханні і може приводити до ураження очей і дихальних шляхів, а при високих концентраціях до смертельного результату. Очищення косового газу від шкідливих газових компонентів відрізняється складністю процесу, яка полягає в наявності у його складі великої кількості хімічних інгредієнтів, що важко підлягають видаленню із загальної їх маси.

Методи досліджень. Аналіз раніше виконаних досліджень в галузі очищення коксових газів від амоніаку та інших шкідливих речовин. Аналітичні дослідження очищення газів на основі фундаментальних положень органічної, неор-

ганічної хімії. Експериментальні дослідження по нейтралізації амоніаку у розробленій суспензії, що включає дисперсну систему з рідким дисперсійним середовищем та твердою диспергованою (дисперсною) фазою, на основі відходів вугільного виробництва, складовими яких є тверда фаза та органічна кислота.

Наукова новизна. Теоретично доведено механізм взаємодії складових суспензії відходів вугільного виробництва та амоніаку. Виведено формулу взаємодії амоніаку з органічною кислотою, що знаходиться в рідкому дисперсійному середовищі. Взаємодія амоніаку з органічною кислотою є особливим випадком його нейтралізації без виділення води. Згідно виведеної хімічної формули, в результаті реакції між органічною кислотою і амоніаком, утворюється сіль органічної кислоти.

Практична значимість. Отримано результати ефективності нейтралізації амоніаку в рідкому дисперсійному середовищі, що включає відходи вугільного виробництва на основі твердої фази та органічної кислоти. Встановлено, що максимальна ефективність нейтралізації амоніаку органічною кислотою при концентрації суспензії 4,0 мас.% становила 98,3 % і в подальшому при підвищенні концентрації суспензії не змінювалась. Встановлена пряма залежність ефективності очищення амоніаку від концентрації нейтралізуючої суспензії. При концентраціях суспензії нижчих 4 мас.% ефективність нейтралізації амоніаку неухильно знижується.

Результати. Доведена перспектива використання природних органічних речовин на основі відходів вугільного виробництва для нейтралізації амоніаку в коксохімічному виробництві. В подальшому на основі розробленої суспензії необхідно провести широкі дослідження по видаленню з повітряного середовища фенолів, оксидів сірки та азоту, сірководню та інших шкідливих речовин.

Ключові слова. Коксохімічне виробництво, шкідливі гази, нейтралізація амоніаку, суспензія, сатуратор.

Тыщук В.Ю., Ковалева И.Б., Бобров М.Д., Кривенко Т.А. Защита воздуха от вредных выбросов аммиака в коксохимическом производстве

Цель. Целью данной работы является разработка эффективных средств очистки коксовых газов от аммиака коксохимических производств на основе использования существующих и разработанных новых средств улавливания и нейтрализации аммиака, который является сильно действующим ядовитым веществом, опасен при вдыхании и может приводить к поражению глаз и дыхательных путей, а при высоких концентрациях к смертельному исходу. Очистка коксового газа от вредных газовых компонентов отличается сложностью процесса, который заключается в наличии в его составе большого количества химических ингредиентов, которые сложно удалить из общей их массы.

Методы исследований. Анализ ранее выполненных исследований в области очистки коксовых газов от аммиака и других вредных веществ. Аналитические исследования очистки газов на основе фундаментальных положений органической, неорганической химии. Экспериментальные исследования по нейтрализации аммиака в разработанной суспензии, которая включает дисперсную систему с жидкой дисперсионной средой и твердой диспергированной (дисперсной) фазой, на основе отходов угольного производства, составными которых являются твердая фаза и органическая кислота.

Научная новизна. Теоретически доказан механизм взаимодействия составляющих суспензии отходов угольного производства, и аммиака. Выведена формула взаимодействия аммиака с органической кислотой, которая находится в жидкой дисперсной среде. Взаимодействие аммиака с органической кислотой является особенным случаем его нейтрализации без выделения воды. Согласно выведенной химической формуле, в результате реакции между органической кислотой и аммиаком образуется соль органической кислоты.

Практическая значимость. Получены результаты эффективности нейтрализации аммиака в жидкой дисперсионной среде, включающей отходы угольного производства на основе твердой фазы и органической кислоты. Установлено, что максимальная эффективность нейтрализации аммиака органической кислотой при концентрации суспензии 4,0 мас.% составляла 98,3% и в дальнейшем при повышении концентрации суспензии не изменялась. Установлена прямая зависимость эффективности очистки аммиака от концентрации нейтрализующей суспензии. При концентрациях суспензии ниже 4 мас.% эффективность нейтрализации аммиака неуклонно снижалась.

Результаты. Доказана перспектива использования природных органических веществ на основе отходов угольного производства для нейтрализации аммиака в коксохимическом производстве. В дальнейшем на основе разработанной суспензии необходимо провести широкие исследования по удалению из воздушной среды фенолов, оксидов серы и азота, сероводорода и других вредных веществ.

Ключевые слова. Коксохимическое производство, вредные газы, нейтрализация аммиака, суспензия, сатуратор.

Tyshchuk V.Yu., Kovaliova I.B., Bobrov M.D., Kryvenko T.A. Protection of air from harmful emissions of ammonia in cochochemical manufacture

Purpose. The purpose of this work is to develop effective means of purifying coke oven gases from ammonia of coke-chemical plants based on the use of existing and developed new means of capturing and neutralizing ammonia, which is a highly active poisonous substance, is dangerous if inhaled and can damage the eyes and respiratory tract, and at high concentrations to death.

Research approach. There are used the analysis of previously performed research in the field of cleaning coke oven gases from ammonia and other harmful substances. Analytical studies of gas cleaning based on the fundamental principles of organic, inorganic chemistry. Experimental studies on the neutralization of ammonia in the developed suspension, which includes a dispersed system with a liquid dispersion medium and a solid dispersed (dispersed) phase, based on coal production waste, whose components are solid phase and organic acid.

Scientific novelty. The mechanism of interaction between the components of the suspension of coal production waste and ammonia is theoretically proved. The formula for the interaction of ammonia with an organic acid, which is in a liquid dispersion medium, is derived. The reaction of ammonia with an organic acid is a special case of neutralization without the release of water. According to the derived chemical formula, as a result of the reaction between the organic acid and ammonia, a salt of the organic acid is formed.

Practical value. The results of the effectiveness of the neutralization of ammonia in a liquid dispersion medium, including waste coal production based on the solid phase and organic acid. It was established that the maximum efficiency of

neutralization of ammonia with an organic acid at a suspension concentration of 4.0 wt.% was 98.3% and subsequently did not change with an increase in the concentration of the suspension. The direct dependence of the efficiency of ammonia purification on the concentration of neutralizing suspension was established. At concentrations of suspension below 4 wt.%, the efficiency of neutralization of ammonia steadily decreased.

Results. Proved the prospect of using natural organic substances based on coal production waste to neutralize ammonia in coke production. Further, on the basis of the developed suspension, it is necessary to conduct extensive studies on the removal from the air of phenols, sulfur oxides and nitrogen, hydrogen sulfide and other harmful substances.

Keywords: coke production, harmful gases, ammonia neutralization, suspension, saturator.

УДК 669.162

Плотников В.В., Бабаевская О.В. Анализ способов получения железосодержащих брикетов из природного и техногенного сырья

Целью выполняемой работы является изучение и анализ известных способов брикетирования накопленных техногенных отходов и железорудных концентратов, определение глубины исследованности теоретических аспектов процесса брикетирования и поиск резервов усовершенствования существующих технологий получения брикетов.

Для решения поставленных задач в работе использовались такие **методы** исследования, как метод теоретического анализа данных научных публикаций, патентной документации по исследуемой проблеме; метод синтеза и интеграции результатов анализа; метод интерпретации.

Научная новизна заключается в доказательстве целесообразности и определении направления дальнейшего развития теории и технологии брикетирования железорудного сырья.

Практическая значимость работы заключается в том, что результаты исследования могут быть использованы для достижения экономического эффекта от рециклинга накопленных техногенных отходов и окускования железорудных концентратов холодным способом, а также для повышения экологической безопасности промышленных регионов.

Результаты работы. Анализ работы отечественных и зарубежных предприятий горно-металлургического комплекса показал, что на сегодняшний день технология брикетирования успешно применяется для утилизации техногенных отходов и почти не применяется для окускования железорудных концентратов и мелкодисперсных руд. Поэтому доля сырья, окускованного этим методом, остается на уровне 2%.

Несмотря на то, что процесс брикетирования является наиболее ранним из способов окускования, он в большинстве направлений развивался и развивается эмпирически. Решение и сколь-нибудь теоретическое обоснование находили исключительно вопросы, поставленные производством, а развитию теоретических основ уделяется гораздо меньшее внимание.

Несмотря на богатый опыт использования технологии брикетирования, существует потенциал для дальнейшего ее совершенствования, а именно посредством направленного изменения свойств связующих компонентов, применения принципиально новых методов и устройств для распределения этих составляющих в объеме шихты, использование для упрочнения брикетов чистых от примесей энергоносителей, таких как электрический ток и другие. Углубленное изучение теории и технологии брикетирования обеспечит статус-кво и развитие её в промышленном масштабе.

Ключевые слова: брикетирование, брикет, металлургическое сырье, железосодержащие отходы, связующие компоненты, рециклинг

Плотніков В.В., Бабаєвська О.В. Аналіз способів отримання залізовмісних брикетів з природної і техногенної сировини

Метою виконуваної роботи є вивчення та аналіз відомих способів брикетування накопичених техногенних відходів та залізорудних концентратів, визначення глибини дослідженості теоретичних аспектів процесу брикетування та пошук резервів вдосконалення існуючих технологій отримання брикетів.

Для вирішення поставлених задач в роботі використовувалися такі **методи** дослідження, як метод теоретичного аналізу даних наукових публікацій, патентної документації з досліджуваної проблеми; метод синтезу та інтеграції результатів аналізу; метод інтерпретації.

Наукова новизна полягає у доведенні доцільності та визначенні напрямку подальшого розвитку теорії і технології брикетування залізовмісної сировини.

Практична значимість роботи полягає у тому, що результати дослідження можуть бути використані для досягнення економічного ефекту від рециклінгу накопичених техногенних відходів та окускування залізорудних концентратів холодним способом, а також для підвищення екологічної безпеки промислових регіонів.

Результати роботи. Аналіз роботи вітчизняних та закордонних підприємств гірничо-металургійного комплексу показав, що на сьогодні технологія брикетування успішно застосовується для утилізації техногенних відходів і майже не використовується для окускування залізорудних концентратів і дрібнодисперсних руд. Через це частка сировини, окускованої цим методом, залишається на рівні 2%.

Незважаючи на те, що процес брикетування є найбільш раннім зі способів окускування, він у більшості напрямків розвивався і розвивається емпірично. Рішення і теоретичне підґрунтя знаходили виключно питання, поставлені виробництвом, а розвитку теоретичних основ приділяється набагато менше уваги.

Незважаючи на багатий досвід застосування технології брикетування, існує потенціал для подальшого її вдосконалення, зокрема через направлене змінення властивостей зв'язуючих компонентів, застосування принципово нових методів і пристроїв розподілення цих складових в об'ємі шихти, використання для зміцнення брикетів чистих від домішок енергоносіїв, таких як електричний струм й інші. Поглиблене вивчення теорії і технології брикетування забезпечить статус-кво і розвиток у промисловому масштабі.

Ключові слова: брикетування, брикет, металургійна сировина, залізовмісні відходи, зв'язуючі компоненти, рециклінг

Plotnikov V.V., Babaievska O.V. Analysis of methods for obtaining iron-containing briquettes from natural and technology raw materials

Purpose. To study and analyze the methods of briquetting accumulated industrial wastes and iron ore concentrates; to investigate the theoretical aspects of the briquetting process; to improve existing technologies for briquette production.

Research methods. The theoretical analysis of the data of scientific publications, patent documentation on the problem under study; method of synthesis and integration of analysis results; interpretation method.

Scientific novelty consists in proving the expediency and determining the direction of further development of the theory and technology for briquetting iron ore raw materials.

Practical significance. The results of the study can be used to achieve the economic effect of recycling accumulated industrial wastes and the sintering of iron ore concentrates in a cold way, as well as to improve the environmental safety of industrial regions.

Results. Analysis of domestic and foreign enterprises of the mining and smelting complex showed that today the technology of briquetting is successfully used for the disposal of industrial waste and is hardly used for sintering of iron ore concentrates and fine ores. Therefore, the share of raw material, grained by this method, remains at 2%.

Despite the fact that the process of briquetting is the earliest of the agglomeration methods, it has been developing empirically in most areas. The solution and any theoretical substantiation found only the questions posed by production, and much less attention is paid to the development of theoretical foundations.

Despite the rich experience of using the technology of briquetting, there is a potential for its further improvement, namely by means of directional changes in the properties of binder components, the use of fundamentally new methods and devices for distributing these components in the bulk of the charge, the use of energy-efficient impurities for hardening briquettes current and others. An in-depth study of the theory and technology of briquetting ensure the status quo and its development on an industrial scale.

Keywords: briquetting, briquette, metallurgical raw materials, iron-containing waste, binding components, recycling.

УДК 621.771

Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Вплив швидкості деформації на зміну напруження при поздовжньому прокатуванні

Мета: визначити закономірності впливу швидкості деформації на величину напружень при поздовжньому прокатуванні

Методи: базуються на фундаментальних положеннях теорії обробки металів тиском, на використанні теоретичного аналізу утворення напруженого стану металу, що виникає в осередку деформації при прокатуванні експериментальної перевірки прийнятих гіпотез та отриманих результатів.

Наукова новизна полягає у тому, що отримано закономірності впливу ступеню обтиснення при прокатуванні на напруження та швидкість обробки, визначено залежність границі текучості металу від швидкості деформації.

Практична значимість полягає у тому, що отримані закономірності та залежності дозволяють доповнити та підвищити точність розрахунків енергосилових параметрів при поздовжньому прокатуванні, що забезпечує можливість більш надійно визначати витрати енергії при прокатуванні та обирати раціональні режими обтиснення.

Результати: в результаті аналізу напружено-деформованого стану металу, що утворюється у осередку деформації при поздовжньому прокатуванні виявлено, що домінуючою є об'ємна схема з трьома стискаючими напруженнями, які викликають деформацію, внаслідок чого утворюється деформований стан, що має об'ємну схему, яка характеризується однією деформацією скорочення і двома деформаціями подовження. На величину напруження впливає швидкість деформації. Визначено ступінь та швидкість деформації, напруження, що виникають при поздовжньому прокатуванні в залежності від ступеню деформації. Досліджено зміну тензора напружень в залежності від швидкості деформації. Виявлено, що швидкість деформації зменшується при збільшенні ступеню деформації. Встановлено, що напруження при гарячому прокатуванні сталі звичайної якості Ст 3 змінюється в межах від 55 МПа до 88 МПа в залежності від швидкості деформації за лінійною залежністю. Отримано закономірність впливу швидкості деформації на напруження металу при прокатуванні, що дозволяє підвищити точність розрахунків при визначенні зусиль та деформації при обробці тиском

Ключові слова: осередок деформації, поздовжнє прокатування, напруження, швидкість деформації, обтиснення, схема деформованого стану

В.А.Чубенко, А.А.Хиноцкая. Влияние скорости деформации на изменении напряжения при продольном прокатувании

Цель: определить закономерности влияния скорости деформации на величину напряжений при продольном прокатувании.

Методы: базируются на фундаментальных положениях теории обработки металлов давлением, на использовании теоретического анализа образования напряженного состояния металла, который возникает в очаге деформации при прокатувании и экспериментальной проверке принятых гипотез и полученных результатов.

Научная новизна заключается в том, что получены закономерности влияния степени обжатия при прокатке на напряжение и скорость обработки, получена зависимость границы текучести металла от скорости деформации.

Практическое значение заключается в том, что полученные закономерности и зависимости позволяют дополнить и повысить точность расчетов энергосиловых параметров при продольной прокатке, что обеспечивает возможность более надежно определять затраты энергии при прокатке и выбирать рациональные режимы обжатия.

Результаты: в результате анализа напряженно-деформированного состояния металла, который образуется в очаге деформации при продольном прокатувании выявлено, что доминирующей является объемная схема с тремя сжимающими напружениями, которые вызывают деформацию, вследствие чего образуется деформированное состояние, который имеет объемную схему, которая характеризуется одной деформацией сокращения и двумя деформациями удлинения. На величину напряжения влияет скорость деформации. Определено степень и скорость деформации, напряжения, которые возникают при продольном прокатувании в зависимости от степени деформации. Исследовано изме-

нение тензора напряжения в зависимости от скорости деформации. Выявлено, что скорость деформации уменьшается при увеличении степени деформации. Установлено, что напряжение при горячем прокатывании стали обычного качества Ст. 3 изменяется в пределах от 55 МПа до 88 МПа в зависимости от скорости деформации в соответствии с линейной зависимостью. Получены закономерности влияния скорости деформации на напряжение металла при прокатке, что позволяет повысить точность расчетов при определении усилий и деформаций при обработке металлов давлением.

Ключевые слова: очаг деформации, продольное прокатывание, напряжения, скорость деформации, обжатия, схема деформированного состояния.

Chubenko V. A., Khinotska A. A. Influence of deformation rate on the change of stress in longitudinal rolling.

Purpose. To determine the laws of the influence of the deformation rate on the magnitude of stresses in longitudinal rolling.

Research methods based on the fundamental positions of the theory of metal treatment by pressure, on the use of theoretical analysis of the formation of a tense state of the metal arising in the deformation cell during the rolling and experimental verification of the hypotheses adopted and the results obtained.

Scientific novelty. The laws of the influence of the degree of compression during rolling on the stresses and the speed of processing have been obtained, and the dependence of the boundary of the flow of metal on the rate of deformation has been obtained.

Practical value. The obtained regularities and dependencies allow to supplement and increase the accuracy of calculations of power-supply parameters in the longitudinal rolling, which provides an opportunity to more reliably determine the energy consumption during the rolling and choose rational compression modes.

Results: As a result of the analysis of the strained-deformed state of the metal formed in the deformation cell during longitudinal rolling, it was discovered that the bulk circuit with three compressive strains that causes deformation is dominant, resulting in the formation of a deformed state having a volumetric circuit, which is characterized by one deformation of contraction and two elongation deformations. The magnitude of the stress is influenced by the rate of deformation. The degree and rate of deformation, stresses, which arise during longitudinal rolling, depending on the degree of deformation, are determined. The stress tensor varies depending on the deformation velocity. It was found that the rate of deformation decreases with increasing deformation. It was established that the stresses in hot rolling steel of normal quality of Ct 3 vary in the range from 55 MPa to 88 MPa depending on the deformation rate according to the linear dependence. The regularity of the influence of the deformation rate on the stresses of the metal during the rolling process is obtained, which allows to increase the accuracy of the calculations in determining the forces and deformations in the treatment of pressure

Keywords: deformation cell, longitudinal rolling, stress, deformation rate, compression, deformed state diagram.

УДК 658.512.011.56.01.77

Попов С.О., Бабець Э.К., Василенко Є.В. Проблема автоматизації управління виробничим процесом на підземних залізрудних гірничодобувних підприємствах України

Мета. Одним із напрямків подальшого розвитку вітчизняного підземного залізрудного гірничодобувного виробництва є автоматизація управління виробничим процесом на шахтах (АСУВП). Впровадження АСУВП стикається із серйозною проблемою, яка полягає у відсутності методичного, програмного, організаційного і технічного забезпечення розробки повнофункціональних таких систем. З метою розробки теоретичних основ створення повнофункціональних таких систем авторами були виконані дослідження проблематики і складностей їх розробки і впровадження та висвітлення вузлових аспектів їх структури і функціонування.

Методи. Для досягнення поставленої мети було застосовано методи пошуку, огляду і аналітичної і обробки бібліографічної інформації, методи мозкового штурму, методи сітьового моделювання, методи структурного аналізу.

Наукова новизна. Новими науковими результатами виконаних досліджень і розробок авторів є визначення і розкриття суті проблем і складностей, які виникають в процесі розробки і впровадження АСУВП підземних залізрудних гірничодобувних підприємств; розробка структури управління цим процесом згідно до принципів Демінга-Шухарта управління системами, що розвиваються; розробка моделі виробничого процесу на залізрудних шахтах і моделі структури системи управління цим процесом з визначенням інформаційних і управлінських зв'язків.

Практична значимість. Розробки, виконані авторами мають значення для практики розробки методичної бази, математичних методів, програмного забезпечення та створення технічної бази АСУВП на вітчизняних підземних залізрудних гірничодобувних підприємствах. Результати роботи мають значення для правильного організації управління всіма процесами, які виконуються на підземному залізрудному підприємстві. До основних з цих процесів відносяться: розкриття рудних покладів, технологічні процеси очисного виймання руди, управління геомеханічним станом гірничого масиву, транспорт видобутої руди, підйом руди на поверхню, переробка руди у товарний продукт. Особливо важливим фактором є забезпечення безпеки здійснення виробничих процесів, які виконуються у підземних умовах. Це у першу чергу відноситься до безпеки геомеханічних умов, які формуються як природними факторами, так і факторами, які залежать від методів виконання технологічних процесів.

Результати. Розроблені основи створення повнофункціональних АСУВП для залізрудних шахтах.

Ключові слова: автоматизація, управління, виробничий процес, залізрудні гірничодобувні підприємства.

УДК 658.512.011.56.01.77

Попов С.О., Бабець Э.К., Василенко Е.В. Проблема автоматизации управления производственным процессом на подземных железорудных горнодобывающих предприятиях Украины

Цель. Одним из направлений дальнейшего развития отечественного подземного железорудного горнодобывающего производства является автоматизация управления производственным процессом на шахтах (АСУПП). Внедрение АСУПП сталкивается с серьезной проблемой, которая состоит в отсутствии методического, программного, организационного и технического обеспечения разработки полнофункциональных таких систем. В связи с указанным выше целью работ, выполненных авторами, явилось выявление проблематики и сложностей их разработки и внедрения, а также освещение узловых аспектов структуры и функционирования этих систем.

Методи. Для достижения поставленной цели были применены методы поиска, обзора, аналитической обработки библиографической информации, методы мозгового штурма, методы сетевого моделирования, методы структурного анализа.

Научная новизна. Новыми научными результатами выполненных исследований и разработок являются определение и раскрытие сути проблем и сложностей, которые возникают в процессе разработки и внедрения АСУВП на подземных железорудных горнодобывающих предприятиях; разработка структуры управления этим процессом согласно принципам Деминга-Шухарта; разработка модели производственного процесса на железорудных шахтах и модели структуры системы управления этим процессом с определением информационных и управленческих связей.

Практическая значимость. Разработки, выполненные авторами имеют значение для практики разработки методической базы, математических методов, программного обеспечения и создание технической базы АСУВП на отечественных подземных железорудных горнодобывающих предприятиях. Результаты работы имеют значение для правильной организации управления всеми процессами, которые выполняются на подземном железорудном предприятии. К основным из этих процессов относятся: раскрытие рудных покладів, технологические процессы очистительного выема руды, управление геомеханическим состоянием горного массива, транспорт добытой руды, подъем руды на поверхность, переработка руды в товарный продукт. Особенно важным фактором являются обеспечения безопасности осуществления производственных процессов, которые выполняются в подземных условиях. Это в первую очередь относится к безопасности геомеханических условий, которые формируются как естественными факторами, так и факторами, которые зависят от методов выполнения технологических процессов.

Результаты. Разработаны основы создания полнофункциональных АСУВП для железорудных шахт.

Ключевые слова: автоматизация, управление, производственный процесс, железорудные горнодобывающие предприятие.

Popov S.O., Babets E.K., Vasilenko E.V. Automation management production at underground iron ore mining enterprises of Ukraine

Purpose. One of the directions of the further development domestic underground production is an automation of production process management of mine (ASUPP). Introduction ASUPP faces the serious problem, which consists in absence of methodical, programme, organizing development of such systems; to reveal the problem of the development and introduction, as well as illumination aspect structures and operation of these systems.

Research methods. Methods of searching, review, analytical processing of the bibliographic information, methods of the brainstorm, methods of network modeling, methods of the structured analysis.

Scientific novelty. The determination of the problems of the development and introduction ASUPP at underground enterprise; the development of the structure management according to principle Deminga-SHuharta; the development of the models of the production process on mine and structure managerial system based on the determination information and management relationships.

Practical value. Developments are important for the methodological practice of mathematical methods, software, and the creation of a technical base for automated production and automation systems at domestic underground iron ore mining enterprises. The research results are important for the management organization of the processes performed at the underground iron ore enterprise. The main processes are as follows: disclosure of ore deposits, technological processes of ore processing, management of the geomechanical condition of the rock mass, transport of mined ore, lifting the ore to the surface, processing the ore into a commodity product. A particularly important factor is to ensure the safe production processes in the underground conditions. This primarily relates to the safety of geomechanic conditions, which are formed by both natural factors and methods of performing technological processes.

Results. The bases of ASUPP for the mines are designed.

Keywords: automation, control, production process, iron ore mining enterprise.

УДК[622.34:622.232]:622.012

Кушнерьов І.П., Кривенко Ю.Ю. Інноваційна технологія відпрацювання потужних кругоспадних рудних покладів на глибоких горизонтах

Мета. Удосконалення систем розробки з відкритим очисним простором шляхом активного впливу по забезпеченню стійкості оголень порід та застосування високопродуктивної техніки, що дає можливість впроваджувати їх на глибоких гори зонтах шахт, збільшувати камерні запаси в блоці і, таким чином, покращувати показники добування корисних копалин.

Методи досліджень. Аналіз існуючих технологій виймання рудних покладів, узагальнення результатів досліджень деформаційних процесів та стійкості оголень порід, теоретичне та практичне встановлення параметрів очисного виймання рудних покладів на глибоких горизонтах у єднанні з самохідним обладнанням для розробки нових технологій.

Наукова новизна. Обґрунтовані необхідність та можливість застосування камерних систем розробки на глибоких горизонтах рудних шахт. Вперше встановлені залежності, які пов'язують інтенсивність випуску та доставки рудної маси з параметрами під поверхово-камерної системи розробки та часом відпрацювання запасів камер та тимчасових стелін. Результати дослідів використані при розробці основ технології виймання рудних покладів в умовах активної дії гірського тиску.

Практична значимість. Розроблена інноваційна технологічна схема очисного виймання потужних кругоспадних рудних покладів та керування рудооточуючим масивом порід на глибоких горизонтах розширює область застосування камерних систем розробки, дозволяє значно знизити втрати корисних копалин на виймковій ділянці та підвищити ефективність добування руд.

Результати. Виконано аналіз сучасного стану застосування камерних систем розробки рудних покладів на досягнутих глибинах шахт. Встановлені залежності, які пов'язують інтенсивність випуску та доставки рудної маси з параметрами під поверхово-камерної системи розробки та часом відпрацювання запасів блоку. Розроблена інноваційна

технологічна схема очисного виймання потужних крутоспадних рудних покладів та керування рудовміщаючим масивом порядком виймання запасів очисного блоку на глибоких горизонтах. Запропонований варіант під поверхово-камерної системи розробки запасів виймової одиниці дає можливість за рахунок високопродуктивної самохідної техніки на очисних процесах підвищити у 1,5...2 рази навантаження на очисній вибій, знизити час стояння конструктивних елементів систем розробки та втрати рудної маси з підвищенням її якості на 5...10% і більше шляхом випуску чистої руди з камер та тимчасових стелін. Також на 5...8% зменшується собівартість видобутку руди при її очисному вийманні.

Ключові слова: рудні поклади, камерна система, стійкість, тимчасові цілики, схема відпрацювання.

Кушнерьов І.П., Кривенко Ю.Ю. Инновационная технология отработки мощных крутопадающих рудных залежей на глубоких горизонтах

Цель. Усовершенствование систем разработки с открытым очистным пространством, путем активного воздействия по обеспечению устойчивости обнажений пород и применения высокопроизводительной техники, которая дает возможность внедрять их на глубоких горизонтах шахт, увеличивать камерные запасы в блоке и, таким образом, улучшать показатели добычи полезных ископаемых.

Методы исследований. Анализ существующих технологий отработки рудных залежей, обобщение результатов исследований деформационных процессов и устойчивости обнажений пород, теоретическое и практическое определение параметров очистной выемки рудных залежей на глубоких горизонтах в сочетании с самоходным оборудованием для разработки новых технологий.

Научная новизна. Обоснована необходимость и возможность применения камерных систем разработки на глубоких горизонтах рудных шахт. Впервые установлены зависимости, которые связывают интенсивность выпуска и доставки рудной массы с параметрами подэтажно-камерной системы разработки, временем отработки запасов камер и временных потолочин. Результаты опытов использованы при разработке основ технологии выемки рудных залежей в условиях активного воздействия горного давления.

Практическая значимость. Разработанная инновационная технологическая схема очистной выемки мощных крутопадающих рудных залежей, и управления массивом горных пород на глубоких горизонтах расширяет область применения камерных систем разработки, позволяет значительно снизить потери полезных ископаемых на выемочном участке и повысить эффективность добычи руд.

Результаты. Выполнен анализ современного состояния применения камерных систем разработки рудных залежей на достигнутых глубинах шахт. Установлены зависимости, которые связывают интенсивность выпуска и доставки рудной массы с параметрами подэтажно-камерной системы разработки и временем отработки запасов блока. Разработана инновационная технологическая схема очистной выемки мощных крутопадающих рудных залежей, управления горным массивом и порядком извлечения запасов очисного блока на глубоких горизонтах. Предложенный вариант подэтажно-камерной системы разработки запасов выемочной единицы дает возможность за счет высокопроизводительной самоходной техники на очистных процессах повысить в 1,5...2 раза нагрузку на очистной забой, снизить время стояния конструктивных элементов систем разработки и потери рудной массы с повышением ее качества на 5...10% и больше, путем выпуска руды из камер и временных потолочин. Также на 5...8% уменьшается себестоимость добычи руды при ее очистной выемке.

Ключевые слова: рудные залежи, камерная система, устойчивость, временные целики, схема отработки.

Kushneriov, I.P., Kryvenko, Yu.Yu. Innovative technology of mining powerful steeply dipping ore deposits on deep horizons

Purpose. Improvement of development systems of an open refining space through ensuring the sustainability of rock outcrops and using high-performance equipment, which makes it possible to introduce them on deep horizons of mines, increase chamber reserves in the block and, thus, improve mineral extraction indicators.

Research methods. Analysis of existing technologies for mining ore deposits, generalization of the results of studies of deformation processes and the stability of rock outcrops, theoretical and practical determination of the parameters of ore deposits in deep horizons with self-propelled equipment for the development of new technologies.

Scientific novelty. The necessity and possibility of using chamber development systems on the deep horizons of ore mines is substantiated. For the first time, dependencies have been established that link the intensity of ore mass production and delivery with the parameters of the sublevel-chamber development system, the time spent on mining stocks of chambers and temporary ceilings. The results of the experiments were used in the development of the technology for excavating ore deposits in terms of active pressure from rock pressure.

Practical significance. The developed innovative technological scheme of clearing excavation of powerful steeply dipping ore deposits and rock mass management on deep horizons expand the application of chamber development systems, significantly reduce the loss of minerals in the excavation area and increase the efficiency of ore mining.

Results. The analysis of the current state of application of chamber systems for the development of ore deposits at the reached depths of the mines is performed. Dependencies have been established that link the intensity of ore mass production and delivery with the parameters of the sublevel chamber development system and the time the unit has been developed. An innovative technological scheme has been developed for clearing the excavation of powerful steeply dipping ore deposits, managing the mountain massif and the procedure for extracting the reserves of the refining block on deep horizons. The proposed version of the sub-floor-chamber system for developing reserves of the excavation unit makes it possible, due to high-performance self-propelled equipment at the refining processes, to increase the load on the working face by 1.5 ... 2 times, reduce the standing time of the structural elements of the development systems and lose the ore mass with increasing 5 ... 10% and more, by the release of ore from the chambers and temporary ceilings. Also, the cost of ore extraction during its clearing excavation decreases by 5 ... 8%.

Keywords: ore deposits, chamber system, sustainability, temporary pillars, mining scheme.

УДК 681.518

Кіянівський М.В., Демида Н.В. Стабілізація положення осі робочого органу роторної машини при різних ступенях навантаження опор ковзання

Мета. Метою даної роботи є проблема забезпечення суміщення осей елементів роторних механізмів, а саме ротора та опор ковзання за рахунок застосування підшипника зі спеціальною формою вкладиша підшипникової опори.

Методи дослідження. Результати роботи отримані шляхом теоретичних досліджень. Теоретичні дослідження полягають у аналізі кривизни траєкторії переміщення центру обертання ротора в опорах, які впливають на зміщення осі обертання ротора від осі підшипника ковзання, так званий ексцентриситет. Ексцентриситет виникає при русі роторних машин під дією динамічних сил. В результаті такі динамічні сили викликають великі, часом дуже суттєві, навантаження та створюють додаткові напруження у таких кінематичних парах, як ротор та підшипник ковзання, а також збільшують тертя і знос їх елементів.

Наукова новизна. Було визначено, що на сьогоднішній день не існує такої конструкції підшипників ковзання, яка б в повній мірі сприятиме стабілізації положення осі ротору в опорах ковзання. Тому дане питання потребує нових теоретичних і експериментальних досліджень при створенні принципово нових конструкцій підшипників, які зможуть сприяти зменшенню величини ексцентриситету, не допускаючи негативних явищ на підшипник при різних ступенях навантаження.

Практичне значення. Виконаний аналіз конструкцій підшипників ковзання дає можливість визначення напрямків модернізації та вдосконалення засобів виробництва на базі застосування новітніх досягнень розробок.

Результати. В результаті проведеного аналізу було визначено, що для зменшення величини ексцентриситету пропонується змінити кривизну траєкторії переміщення центру обертання ротора, при зміні навантаження на підшипник, за рахунок зміни кривизни опорної поверхні підшипника у місці виникнення клинового зазору. Таким чином зміститься положення клинового зазору, що забезпечить як «підйом» ротора, так і його шлях по новій зміщеній траєкторії, тому ексцентриситет дорівнюватиме мінімально-му значенню. Регулювання кривизни опорної поверхні підшипника сприятиме стабілізації положення осі ротору в опорах ковзання.

Ключові слова: ротор, підшипник ковзання, стабілізація, ексцентриситет, навантаження, надійність

Кіянівський Н.В., Демида Н.В. Стабилизация положения оси рабочего органа машин при различных степенях нагрузки опор скольжения

Цель. Целью данной работы является проблема обеспечения совмещения осей элементов роторных механизмов, а именно ротора и опор скольжения за счет применения подшипника со специальной формой вкладыша подшипниковой опоры.

Методы исследования. Результаты работы получены путем теоретических исследований. Теоретические исследования лежат в анализе кривизны траектории перемещения центра вращения ротора в опорах, которые влияют на смещение оси вращения ротора от оси подшипника скольжения, так называемый эксцентриситет. Эксцентриситет возникает при движении машин под действием динамических сил. В результате такие динамические силы вызывают большие, порой весьма существенные, нагрузки и создают дополнительные напряжения в таких кинематических парах, как ротор и подшипник скольжения, а также увеличивают трение и износ их элементов.

Научная новизна. Было определено, что на сегодняшний день не существует такой конструкции подшипников скольжения, которая в полной мере будет способствовать стабилизации положения оси ротора в опорах скольжения. Поэтому данный вопрос требует новых теоретических и экспериментальных исследований при создании принципиально новых конструкций подшипников, которые смогут способствовать уменьшению величины эксцентриситета, не допуская негативных явлений на подшипник при различных степенях нагрузки.

Практическое значение. Выполненный анализ конструкций подшипников скольжения дает возможность определения направлений модернизации и совершенствования средств производства на базе применения новейших достижений разработок.

Результаты. В результате проведенного анализа было определено, что для уменьшения величины эксцентриситета предлагается изменить кривизну траектории перемещения центра вращения ротора, при изменении нагрузки на подшипник, за счет изменения кривизны опорной поверхности подшипника в месте возникновения клинового зазора. Таким образом сместится положение клинового зазора, обеспечивая как «подъем» ротора, так и его путь по новой смещенной траектории, поэтому эксцентриситет будет равен минимальному значению. Регулирование кривизны опорной поверхности подшипника способствует стабилизации положения оси ротора в опорах скольжения.

Ключевые слова: ротор, подшипник скольжения, стабилизация, эксцентриситет, нагрузка, надежность

Kiyanovskiy N.V., Demida N.V. Position stabilization of the rotor machine axis at different stage of loading the bearings

Purpose. To ensure an alignment of the axes of the rotor mechanisms including the rotor and sliding bearings through the use of a bearing with a special form of bearing shell.

Research methods. Theoretical studies lie in the analysis of the curvature of the trajectory of movement of the center of rotation of the rotor in the supports, which affect the displacement of the axis of rotor rotation from the axis of the sliding bearing, i.g., eccentricity. Eccentricity arises when moving machines under dynamic forces. As a result, such dynamic forces cause large, sometimes quite substantial, loads and create additional stresses in kinematic pairs as a rotor and sliding bearing, as well as increase the friction and wear of their elements.

Scientific novelty. It was determined that today there is no such bearing design, which fully contributes to stabilizing the position of the rotor axis in the slide bearings. Therefore, this issue requires new theoretical and experimental studies when creating fundamentally new bearing designs that reduces the eccentricity without negative effects on the bearing at various degrees of load.

Practical value. The analysis of the structures of the sliding bearings makes it possible to determine the directions of modernization and improvement of the means of production on the basis of the latest developments.

Results. In order to reduce the eccentricity, it is proposed to change the curvature of the movement trajectory of the center rotor rotation, when the load on the bearing changes, by changing the curvature of the bearing bearing surface at the site of the wedge gap. In this way, the position of the wedge gap will shift, ensuring both the “rise” of the rotor and its path along the new shifted path, therefore the eccentricity will be equal to the minimum value. Adjusting the curvature of the bearing surface enables to stabilize the position of the rotor axis in the slide bearings.

Keywords: rotor, plain bearing, stabilization, eccentricity, load, reliability.

УДК 622.03-021.465:622'11

Шолох М. В. Методи прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах

Мета. У роботі розглянуто геостатистичні (дискретний, випадковий і універсальний крайгінг) методи оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах при поділу блоків на однорідні об'єми.

Методи дослідження. Оцінка блоків великого і малого розмірів з різним числом даних у блоках і за межами визначається по величині відносної похибки оцінок у порівнянні з фактично вимірними значеннями на відпрацьованих дільницях рудного тіла і покладах родовища. Порівняння точності результатів традиційних і геостатистичних методів оцінки фактору впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників надр не суперечить теорії оптимальної статистичної оцінки і використовується для моделі мінливості показників і окремих параметрів.

Наукова новизна. Запропонована модифікація крайгінга – індикаторний крайгінг, який дозволяє одержати ефективну геостатистичну оцінку впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників надр і в блоках, які складенні різнотипними корисними копалинами. Методика універсального крайгінга дозволяє зменшити зсув оцінок об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах.

Практична значимість. Оцінка середнього значення природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників у надрах базується на дослідженні мінливості характеристики ознак, аналізі геометричних характеристик блоків дільниць рудного тіла і покладу родовища залізистих кварцитів і параметрів розвідувальних мереж. Розрахунки показують, що для малих блоків дільниць рудного тіла і покладу родовища залізистих кварцитів досить залучити для оцінки три – шість найближчих проб. Для регулярних мереж опробування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах розрахунки коефіцієнтів проведені заздалегідь для найбільш типових конфігурацій взаємного розташування блоку і проб, які беруть участь в оцінці.

Результати. Розглянуті дискретний, випадковий і універсальний крайгінг оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах більш ефективні по точності в умовах геологічної і статистичної однорідності блоків, які оцінюються. Запропонована модифікація крайгінга – індикаторний крайгінг, який дозволяє одержати ефективну геостатистичну оцінку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках, які складенні різнотипними корисними копалинами. Сутність методу полягає в тому, що поряд зі звичайними варіограмами вмісту якісних показників для кожного типу корисних копалин будується індикаторна варіограма.

Ключові слова: запаси, блоки, об'ємно-якісні показники, крайгінг оцінки, індикаторні варіограми.

Шолох М. В. Методы прогнозирования природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых в недрах

Цель. В работе рассмотрены геостатистического (дискретный, случайный и универсальный крайгинг) методы оценки объемно-качественных показателей полезных ископаемых в недрах при делении блоков на однородные объемы.

Методы исследования. Оценка блоков большого и малого размеров с различным числом данных в блоках и за пределами определяется по величине относительной погрешности оценок по сравнению с фактически измеренным значениям на отработанных участках рудного тела и залежах месторождения. Сравнение точности результатов традиционных и геостатистических методов оценки фактора влияния природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей недр не противоречащей теории оптимальной статистической оценки и используется для модели изменчивости показателей и отдельных параметров.

Научная новизна. Предложенная модификация крайгинга - индикаторный крайгинг, который позволяет получить эффективную геостатистическую оценку влияния природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей недр и в блоках, которые составлены разнотипными полезными ископаемыми. Методика универсального крайгинга позволяет уменьшить смещение оценок объемно-качественных показателей полезных ископаемых в недрах.

Практическая значимость. Оценка среднего значения природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей в недрах базируется на исследовании изменчивости характеристики признаков, анализе геометрических характеристик блоков участков рудного тела и залежи месторождения железистых кварцитов и параметров разведывательных сетей. Расчеты показывают, что для малых блоков участков рудного тела и залежи месторождения железистых кварцитов достаточно привлечь для оценки три - шесть ближайших проб. Для регулярных сетей опробования природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых в недрах расчеты коэффициентов проведены заранее для наиболее типичных конфигураций взаимного расположения блока и проб, участвующих в оценке.

Результаты. Рассмотрены дискретный, случайный и универсальный крайгинг оценки природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых в недрах более эффективные по точности в условиях геологической и статистической однородности блоков, которые оцениваются. Предложенная модификация крайгинга - индикаторный крайгинг, который позволяет получить эффективную геостатистическую оценку природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых в недрах и блоках, которые составлены разнотипными полезными ископаемыми. Сущность

метода заключається в тому, що наряду с обычными вариограмами содержания качественных показателей для каждого типа полезных ископаемых строится индикаторная вариограмма.

Ключевые слова: запасы, блоки, объемно-качественные показатели, крайгинг оценки, индикаторные вариограммы.

Sholokh M. V. Methods of forecasting the natural-spatial location of the variability of the content of qualitative indices of minerals in the depths.

Purpose. The geostatistical (discrete, random, and universal edgegering) methods of estimating volumetric and qualitative indices of minerals in the subsoil with division of blocks into homogeneous volumes are considered in the paper.

Research methods. The estimation of blocks of large and small sizes with different number of data in the blocks and outside is determined by the magnitude of the relative error of estimates in comparison with the actual measured values at the waste areas of the ore body and deposits of the deposit. Comparison of the accuracy of the results of traditional and geostatistical methods for estimating the influence of the natural-spatial location of the variability of the contents of the qualitative indices of the interior does not contradict the theory of optimal statistical estimation and is used for the model of variability of indicators and individual parameters.

Scientific novelty. The proposed edgings modification is an indicator marginalization, which allows obtaining an effective geostatistical estimation of the influence of the natural-spatial location of the variability of the contents of the qualitative indices of the subsoil and in the blocks that are composed of various types of minerals. The method of universal edgegering allows to reduce the shift of estimations of volumetric and qualitative indices of minerals in the subsoil.

Practical significance. Estimation of the average value of the natural-spatial location of the variability of the content of qualitative indices in the depths is based on the study of the variability of characteristic characteristics, the analysis of the geometric characteristics of blocks of ore body sections and deposit deposits of ferrous quartzites and parameters of intelligence networks. Calculations show that for small blocks of sections of the ore body and deposits of ferruginous quartzites it is enough to attract for evaluation three to six nearest samples. For regular networks testing the natural spatial location of the variability of the content of the qualitative indices of minerals in the depths, calculations of the coefficients are carried out in advance for the most typical configurations of the mutual arrangement of the block and samples that participate in the assessment.

Results. Considered discrete, random and universal edgegering estimation of the natural-spatial location of the variability of the content of qualitative indices of minerals in the subsoil more effective in terms of accuracy in terms of geological and statistical homogeneity of the units that are evaluated. The proposed edge ring modification is indicative marginalization, which allows obtaining an effective geostatistical estimation of the natural-spatial location of the variability of the content of the qualitative indices of minerals in the subsoil and blocks that are composed of various types of minerals. The essence of the method lies in the fact that, along with the usual variograms of the content of qualitative indicators for each type of mineral resources, an indicator variogram is constructed.

Keywords: reserves, blocks, volume-quality indicators, margin-estimation, indicator variograms.

УДК 666.125.016.1:669.017.1

Шаповалов В.А., Сайтгаресв Л.Н., Ярош Т.П., Скідін І. Е. Використання виробничого потенціалу ливарних цехів у вирішенні завдань екології та охорони праці

Метою статті є аналіз прямого та опосередкованого впливу заходів з підвищення енерго- та ресурсоефективності ливарного виробництва на санітарно-екологічний стан у виробничих відділеннях та на підприємстві у цілому.

Методи. У результаті аналізу та бенчмаркінгу запропоновані заходи щодо зниження енергоємності виробничого процесу виготовлення виливок. Детально розглянуті та проаналізовані аспекти вирішення завдань екології та охорони праці при підвищенні виходу придатної продукції унаслідок зменшення браку, використання сучасних технологій формотворення та виробництва стрижнів, застосування технології регенерації формувальних сумішей, впровадження методів виправлення дефектів та способів виробництва двошарових виливок із застосуванням саморосповсюджуючого високотемпературного синтезу розплавів, удосконалення технологічних операцій плавки та розливки спалі.

Наукова новизна. Показано, що зменшення кількості браку і підвищення виходу придатного металу опосередковано, але все ж таки, скорочує тривалість виробничого циклу, рівень травматизму, поліпшує санітарно-гігієнічну ситуацію. Це призводить до зменшення кількості зворотного сплаву у плавці, поліпшенню умов праці, нормалізації екологічної ситуації.

Практична значимість. Впровадження прогресивних технологій виготовлення ливарних форм і стрижнів, а також відновлення відпрацьованих сумішей з урахуванням санітарно-гігієнічних норм та правил позитивно впливає на технологічні чинники виробництва, умови праці і екологічний стан у цілому. Застосування технології лиття з використанням СВС як альтернативи наплавленню різних сплавів на поверхню виливків забезпечить зменшення використання електроенергії, газу та води, суттєвого зниження рівня утворення відходів та кількості шкідливих викидів у навколишнє середовище у порівнянні з викидами під час інших методів плавлення та розливання розплавів.

Результати. Аналіз зв'язків між більш ефективним використанням виробничого потенціалу ливарного підприємства та санітарно-екологічними показниками роботи дозволив обґрунтувати напрямки та конкретні заходи з одночасного покращення показників ефективності і рентабельності виробничих процесів та показниками екологічності й охорони праці.

Ключові слова: охорона праці, екологія, ливарне виробництво, ресурсоефективність, енергоємність.

Шаповалов В.А., Сайтгареев Л.Н., Скідин І.Е., Ярош Т.П. Использование производственного потенциала литейных цехов в решении задач экологии и охраны труда

Целью статьи является анализ прямого и косвенного влияния мероприятий по повышению энерго- и ресурсоэффективности литейного производства на санитарно-экологическое состояние в производственных отделениях и на предприятии в целом.

Методы. В результате анализа и бенчмаркинга предложены меры по снижению энергоёмкости производственного процесса изготовления отливок. Подробно рассмотрены и проанализированы аспекты решения задач экологии и охраны труда при повышении выхода годной продукции вследствие уменьшения брака, использовании современных

технологій формообранования и производства стержней, применении технологии регенерации формовочных смесей, внедрении методов исправления дефектов и способов производства двухслойных отливок с использованием самораспространяющегося высокотемпературного синтеза расплавов, совершенствовании технологических операций плавки и разливки слани.

Научная новизна. Показано, что уменьшение количества брака и повышение выхода годного металла косвенно, но все же, сокращает длительность производственного цикла, уровень травматизма, улучшает санитарно-гигиеническую ситуацию. Это приводит к уменьшению количества обратной сплава в плавники, улучшению условий труда, нормализации экологической ситуации.

Практическая значимость. Внедрение прогрессивных технологий изготовления литейных форм и стержней, а также восстановления отработанных смесей на основе санитарно-гигиенических норм и правил положительно влияет на технологические факторы производства, условия труда и экологическое состояние в целом. Применение технологии литья с использованием СВС как альтернативы наплавке различных сплавов на поверхность отливок обеспечивает уменьшение использованной электроэнергии, газа и воды, существенное снижение уровня образования отходов и количества вредных выбросов в окружающую среду по сравнению с выбросами при других методах плавания и разливки расплавов.

Результаты. Анализ связей между более эффективным использованием производственного потенциала литейного предприятия и санитарно-экологическими показателями работы позволил обосновать направления и конкретные меры по одновременному улучшению показателей эффективности и рентабельности производственных процессов и показателей экологичности и охраны труда.

Ключевые слова: охрана труда, экология, литейное производство, ресурсоэффективность, энергоёмкость.

Shapovalov V.A., Saithareyev L.N., Skidin I.E., Yarosh T.P. Foundry production capacity in solving ecological and labor protection tasks

Purpose. To analyze direct and indirect effects of the measures aimed at increasing the energy and the resource efficiency of a foundry on the sanitary and ecological situation in the production departments and in the whole enterprise.

Research methods. As a result of analysis and benchmarking the article suggests measures for reducing the energy intensity of the casting production process. Detailed consideration and analysis of the aspects of solving the problems of ecology and labor safety at the increase in yield of suitable products due to the reduction of rejected materials, the use of modern technology for forming and producing rods, the application of the technology for regenerating molding mixtures, the introduction of defect correction methods and the production of bimetallic castings with the use of self-propagating high-temperature synthesis of melts and improvement of processes of melting and casting are given.

Scientific novelty. It has been shown that reducing the number of rejected materials and increasing the yield of suitable metals still reduces indirectly the actual lead time, the accident rate, improves the sanitary and hygienic situation. This leads to a decrease in the amount of recirculated metal, an improvement of working conditions, and normalization of the environmental situation.

Practical value. The introduction of advanced technologies for manufacturing of foundry molds and cores, as well as the restoration of old sands, taking into account sanitary and hygienic norms and rules, positively affects technological factors of production, working conditions and the ecological state as a whole. The application of casting technology using self-propagating high-temperature synthesis as an alternative to hard-facing the surface of the castings with various alloys will reduce the use of electricity, gas and water, will significantly lessen the generation of waste and the amount of harmful emissions into the environment compared to the emissions occurring when applying other methods for melting and casting.

Results. The analysis of the relations between the more effective use of foundry production potential and sanitary and ecological indicators of work allowed us to justify the directions and particular measures undertaken for simultaneous improving the indicators of efficiency and profitability of production processes and indicators of environmental and labor safety.

Keywords: labor protection, ecology, foundry production, resource efficiency, energy intensity.

УДК 622.272: 622.063.7

Косенко А. В., Тарасюгін В. М. Обґрунтування ефективності комплексного застосування самохідної гірничої техніки у процесі відпрацювання запасів природно-багатих залізних руд на великих глибинах

Мета. Обґрунтування доцільності комплексного застосування самохідної гірничої техніки у процесі відпрацювання покладів природно-багатих залізних руд в умовах великих глибин шахт Кривбасу на основі техніко-економічного порівняння з традиційним варіантом технології підповерхового обвалення.

Методи. Конструктивно-функціональний аналіз і синтез технологічних процесів очисного виймання; фізичне і чисельне моделювання високо-інтенсивного технологічного процесу випуску руди під обваленими породами; технологічне проектування і техніко-економічна оцінка схем процесів очисного виймання природно-багатих залізних руд.

Наукова новизна. Встановлені залежності ефективності розробленого варіанту технології підповерхового обвалення із застосуванням самохідної гірничої техніки від гірничо-геологічних та гірничотехнічних чинників.

Практична значимість. Розроблено раціональний варіант технології підповерхового обвалення для відпрацювання покладів природно-багатих залізних руд з використанням самохідної прохідницької, бурової та доставочної техніки, який дає змогу забезпечити: формування компенсаційних камер необхідного, для якісного подрібнення рудного масиву та протікання технологічного процесу випуску відбитої рудної маси, об'єму; підвищення якісних і кількісних показників вилучення руди відповідно на 2,6% та 2,7% (абсолютних); стійкість підготовчо-нарізних виробок і зменшення витрат на їх підтримання та ремонт; економічну ефективність на рівні 14,5 грн/т.

Результати. Доведена ефективність впровадження на практиці розробленого варіанту технології підповерхового обвалення із застосуванням самохідної гірничої техніки. Так як у порівнянні з базовим він дозволить підвищити економічну ефективність відпрацювання покладів природно-багатих залізних руд в умовах великих глибин на 10,1%, завдяки підвищенню інтенсивності очисного виймання запасів панелей. А встановлений рівень економічної ефективності розробленого варіанту технології очисного виймання забезпечується підвищенням, до оптимального рівня

(5,5-6,0 т/м² за добу), інтенсивності технологічного процесу випуску і доставки руди, величина якої досягається завдяки застосуванню комбінованого способу доставки, що представлений у вигляді комплексу «багатоковшеві скреперні лебідки 55ЛС-2С – самохідна навантажувально-доставочна машина TORO 400Е».

Ключові слова: природно-багаті залізні руди; втрати руди; засмічення рудної маси; підповерхове обвалення; показники вилучення; інтенсивність випуску руди, фізичне моделювання, чисельне моделювання.

Косенко А. В., Тарасютин В. М. Обоснование эффективности комплексного применения самоходной горной техники в процессе отработки запасов природно-богатых железных руд на больших глубинах

Цель. Обоснование целесообразности комплексного применения самоходной горной техники в процессе отработки залежей природно-богатых железных руд в условиях больших глубин шахт Кривбасса на основании технико-экономического сравнения с традиционным вариантом технологии подэтажного обрушения.

Методы. Конструктивно-функциональный анализ и синтез технологических процессов очистной выемки; физическое и численное моделирование высокоинтенсивного технологического процесса выпуска руды под обрушенными породами; технологическое проектирование и технико-экономическая оценка схем процессов очистной выемки природно-богатых железных руд.

Научная новизна. Установлены зависимости эффективности разработанного варианта технологии подэтажного обрушения с применением самоходной горной техники от горно-геологических и горнотехнических факторов.

Практическая значимость. Разработан рациональный вариант технологии подэтажного обрушения для отработки залежей природно-богатых железных руд с использованием самоходной проходческой, буровой и доставочной техники, который позволяет обеспечить: формирование компенсационных камер необходимого для качественного измельчения рудного массива и протекания технологического процесса выпуска отбитой рудной массы, объема; повышение качественных и количественных показателей извлечения руды соответственно на 2,6% и 2,7% (абсолютных); устойчивость подготовительно-нарезных выработок и уменьшение затрат на их поддержание и ремонт; экономическую эффективность на уровне 14,5 грн/т.

Результаты. Доказана эффективность внедрения на практике разработанного варианта технологии подэтажного обрушения с применением самоходной горной техники. Так как по сравнению с базовым он позволит повысить экономическую эффективность отработки месторождений природно-богатых железных руд в условиях больших глубин на 10,1%, благодаря увеличению интенсивности очистной выемки запасов панелей. А установленный уровень экономической эффективности разработанного варианта технологии очистной выемки обеспечивается повышением, до оптимального уровня (5,5-6,0 т/м² в сутки), интенсивности технологического процесса выпуска и доставки руды, величина которой достигается за счёт применения комбинированного способа доставки, который представлен в виде комплекса «многоковшовые скреперные лебедки 55ЛС-2С – самоходная погрузочно-доставочная машина TORO 400Е».

Ключевые слова: природно-богатые железные руды, потери руды; разубоживание рудной массы, подэтажное обрушение, показатели извлечения, интенсивность выпуска руды, физическое моделирование, численное моделирование.

Kosenko A.V., Tarasiutin V. M. Complex application of self-propelled mining equipment in the development of natural-rich iron ore reserves in the great depth

Purpose. To justify the feasibility of the integrated use of self-propelled mining equipment in mining natural-rich iron ore deposits in the great depths of the Krivbass mines on the basis of a technical and economic comparison with the traditional the sub-level caving.

Methods. Constructive-functional analysis and synthesis of technological processes of the current mining; physical modeling and computational simulation of high-intensity technological process of ore-drawing under the caving rocks; technological design, technical and economic assessment of the schemes of the of actual mining processes of natural-rich iron ores.

Scientific novelty. The dependences of the efficiency of the developed sub-level caving mining method with the use of self-propelled mining equipment on geological and mining engineering factors are established.

Practical value. A rational the sub-level caving mining method was developed for the recovery of natural-rich iron ore deposits with the use of the self-propelled tunneling, drilling and delivery equipment. This enables the formation of undercut necessary high-quality grinding of the ore massif and the flow of the ore-drawing, volume; improvement of the qualitative and quantitative degree of extraction, respectively, by 2.6% and 2.7% (absolute); stability of development workings and reduction of costs for the maintenance and repair; economic efficiency up to 14.5 UAH/t.

Results. The efficiency of the developed sub-level caving mining method with the use of the self-propelled mining equipment has been proved. As compared with the baseline, it allows to increase the economic efficiency of mining deposits of naturally rich iron ores in the great depths by 10.1%, due to an increase in the intensity of actual mining of stoped panels. The established economic efficiency of the developed mining is provided by increasing up to 5.5-6.0 t/m² per day, the intensity of the technological process of ore-drawing and delivery, the value of which is achieved through the use of a combined delivery method presented as a complex «multi-bucket scraper haulers 55LS-2S – self-propelled loading and hauling machine TORO 400E».

Keywords: naturally rich iron ores, ore loss, ore dilution, sub-level caving, degree of extraction, intensity of ore-drawing, physical modeling, computational simulation.

УДК 622.236-047.44:622.232.72

Вусик О.О., Пижик А.М. Аналіз теоретичного та практичного застосування безвибухової розробки породного масива фрезерними комбайнами

Мета. Розглянути основні питання підвищення ефективності ведення відкритих гірничих робіт при застосуванні комбайнів пошарового фрезерування для розробки напівскельних і скельних гірських порід.

Методи. Теоретичний аналіз досліджень і узагальнення літературних джерел присвячених роботі комбайнів пошарового фрезерування в різних умовах розробки родовищ корисних копалин. Аналіз області застосування сучасних

високопродуктивних машин пошарового фрезерування для досягнення максимальних показників їх роботи з урахуванням фізико-механічних властивостей порід.

Наукова новизна. Обґрунтовано можливість впровадження технології пошарового фрезерування гірських порід сучасними високопродуктивними кар'єрними комбайнами, як альтернатива діючій технології ведення відкритих гірничих робіт із підготовкою порід до виймання вибухом. Завдяки чому підвищуються техніко-економічні показники роботи гірничовидобувного підприємства і зменшується негативний вплив на навколишнє середовище.

Практична значимість. Аналіз дослідження дозволяє здійснити удосконалення технології розробки родовищ корисних копалин шляхом застосування кар'єрних комбайнів фрезерного типу, а також свідчить про достатню надійності їх роботи і необхідність впровадження їх на глибоких кар'єрах в складних гірничотехнічних і гірничо-геологічних умовах ведення гірничих робіт. 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 розкриву та збільшується активність робочої зони.

Результати. Область застосування кар'єрних комбайнів визначається встановленими взаємозв'язками між технологічними параметрами роботи комбайнів фрезерного типу і параметрами елементів системи розробки родовищ корисних копалин враховуючи фізико-механічні властивості порід в діючих складних умовах відпрацювання залізрудних покладів. Обґрунтування раціональної роботи транспортного та виймально-навантажувального обладнання в якості кар'єрних фрезерних комбайнів є найважливішою умовою, котра забезпечить отримання максимальних показників роботи виймально-транспортного комплексу кар'єру при мінімальних витратах на розробку залізрудного покладу.

Ключові слова: гірська порода, пошарове фрезерування, гірничий комбайн, безвибухова розробка.

Вусык О.А., Пыжик А.Н. Анализ теоретического и практического использования безвзрывной разработки породного массива фрезерными комбайнами

Цель. Рассмотреть основные вопросы повышения эффективности ведения открытых горных работ при использовании комбайнов послыного фрезерования для разработки полускальных и скальных горных пород.

Методы. Теоретический анализ исследований и обобщения литературных источников посвященных работе комбайнов послыного фрезерования в различных условиях разработки месторождений полезных ископаемых. Анализ области применения современных высокопроизводительных машин послыного фрезерования для достижения максимальных показателей их работы с учетом физико-механических свойств пород.

Научная новизна. Обоснована возможность внедрения технологии послыного фрезерования горных пород современными высокопроизводительными карьерными комбайнами, как альтернатива действующей технологии ведения открытых горных работ с подготовкой пород к выемке взрывом. Благодаря чему повышаются технико-экономические показатели работы горнодобывающего предприятия и уменьшается негативное влияние на окружающую среду.

Практическая значимость. Анализ исследования позволяет осуществить совершенствование технологии разработки месторождений полезных ископаемых путем применения карьерных комбайнов фрезерного типа, а также свидетельствует о достаточной надежности их работы и необходимости внедрения их на глубоких карьерах в сложных горнотехнических и горно-геологических условиях ведения горных работ. 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 отработки пород, комбайновым способом повышается эффективность извлечения пород вскрыши и увеличивается активность рабочей зоны.

Результаты. Область применения карьерных комбайнов определяется установленными взаимосвязями между технологическими параметрами работы комбайнов фрезерного типа и параметрами элементов системы разработки месторождений полезных ископаемых учитывая физико-механические свойства пород в действующих сложных условиях отработки железорудных залежей. Обоснование рациональной работы транспортного и выемочно-погрузочного оборудования в качестве карьерных фрезерных комбайнов является важнейшим условием, которое обеспечит получение максимальных показателей работы выемочно-транспортного комплекса карьера при минимальных затратах на разработку железорудного месторождения.

Ключевые слова: горная порода, послыное фрезерование, горный комбайн, безвзрывная разработка.

Vusyk O.A., Pyzhik A.N. Analysis of the theoretical and practical application non-blasting development of a rock massif by surface miners

Purpose. To consider the basic issue on increase of efficiency of open mining works with using of combines layer-by-layer milling for the development of half-rocky rocks and rocky rocks.

Research methods. Theoretical analysis of researches and generalization of literary sources devoted to the work of combines of layer milling in various conditions of development of mineral deposits. Analysis of the application of modern high-performance layer milling machines to achieve maximum performance of their work, taking into account the physical and mechanical properties of rocks.

Scientific novelty. The possibility of introducing the technology of layer-by-layer milling of rocks by modern high-performance surface miners as an alternative to the current technology of open-pit mining with the preparation of rocks for excavation by blasting is substantiated. This increases the technical and economic performance of the mining enterprise and reduces the negative impact on the environment.

Practical value. Analysis of the study allows to improve the technology of development of mineral deposits through the use of mining combines milling type, as well as evidence of sufficient reliability of their work and the need to implement them in deep open pits in complex mining and geological conditions of mining. The use of mountain combines in the current technology of open development of half-rocky rocks and rocky rocks displaces the technological process of preparation of rocks for excavation by blasting. In terms of achieving significant depth of mining rocks, combine the method improves the efficiency of extraction of overburden and increases the activity of the working area.

Results. The field of application of surface miners is determined by the established relationships between the technological parameters of the milling type harvesters and the parameters of the elements of the system of development of mineral deposits taking into account the physical and mechanical properties of rocks in the current difficult conditions of mining iron ore deposits. The rationale for the rational operation of transport and removal and loading equipment as a career surface miner is an important condition that will ensure maximum performance of the excavation and transport complex of the open pit at minimum cost for the development of iron ore deposits.

Keywords: rock, layer-by-layer milling, surface miner, non-blasting development.

УДК 681.5:621.311.1

Грамм О.О., Савицький О. І. Предиктивна оцінка навантаження електричної мережі із застосуванням комбінованих інтелектуальних систем для автоматичного керування енергопостачанням

Мета. Метою даної роботи є розробка алгоритмічного забезпечення підсистеми прогнозування рівня споживання електричної енергії промисловими об'єктами з використанням комбінованих інтелектуальних методів на основі механізмів нечіткої логіки та оптимізації її функціонування за рахунок використання генетичного алгоритму для зменшення витрат на енергопостачання, підвищення надійності енергетичної мережі і досягнення максимальної енергоефективності підприємства в умовах енергетичної біржі.

Методи дослідження. Для вирішення поставленої задачі у роботі використовуються методи теорії систем автоматичного керування виробництвом, методи оптимізації систем автоматичного керування, методи нечіткої логіки і генетичного алгоритму і проведено аналіз доцільності використання методів комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна. У роботі удосконалено алгоритм прогнозування навантаження заснований на системі нечіткої логіки шляхом його оптимізації засобами генетичного алгоритму, що відрізняється від відомих врахуванням погодних умов і тривалості світлового дня, що має забезпечити зменшення відносної помилки прогнозування на 0,2 – 0,4% у порівнянні з відомими методами прогнозування рівня споживання.

Практична значимість. Практичне значення роботи полягає у розробці алгоритму предиктивної оцінки навантаження заснованого на комбінації механізмів нечіткої логіки і засобах генетичного алгоритму, використання якого дозволить зменшити фінансові втрати пов'язані з надмірними та недостатніми об'ємами замовлення електричної енергії в умовах єдиного енергетичного ринку, дозволить скоротити кількість випадків перевищення обмежень на споживання електричної енергії.

Результати. Результатом виконаної роботи є розроблені алгоритмічні та принципові схеми системи прогнозування рівня споживання електричної енергії, які дозволяють оптимізувати у реальному часі роботу нечіткої системи прогнозування навантаження шляхом оптимізації вагових коефіцієнтів її правил за допомогою засобів генетичного алгоритму, що являється основою для створення інтелектуальної системи автоматичного керування енергопостачанням підприємства.

Ключові слова: автоматизація, нечітка логіка, генетичний алгоритм, прогнозування, попит, електроенергія, енергетична біржа, енергетичні мережі.

Грамм А.А., Савицький А. И. Предиктивная оценка нагрузки электрической сети с использованием комбинированных интеллектуальных систем для автоматического управления энергоснабжением

Цель. Целью данной работы является разработка алгоритмического обеспечения подсистемы прогнозирования уровня потребления электрической энергии промышленными объектами с использованием комбинированных интеллектуальных методов на основе механизма нечеткой логики и оптимизации его функционирования за счёт использования генетического алгоритма для уменьшения расходов на энергоснабжение, повышения надежности энергетической сети и достижения максимальной энергоэффективности предприятия в условиях энергетической биржи.

Методы исследования. Для решения поставленной задачи в работе используются методы теории систем автоматического управления производством, методы оптимизации систем автоматического управления, методы нечеткой логики и генетического алгоритма и проведено анализ целесообразности использования методов компьютерного моделирования.

Научная новизна. В работе усовершенствован алгоритм прогнозирования нагрузки основанный на системе нечеткой логики путем его оптимизации средствами генетического алгоритма, который отличается от известных учетом погодных условий и продолжительности светового дня, что должно обеспечить уменьшение относительной ошибки прогнозирования на 0,2 - 0,4% в сравнении с известными методами прогнозирования уровня потребления.

Практическая значимость. Практическое значение работы состоит в разработке алгоритма предиктивной оценки нагрузки, основанного на комбинации механизмов нечёткой логики и средств генетического алгоритма, использование которого позволит уменьшить финансовые потери связанные с чрезмерными и недостаточными объемами заказа электрической энергии в условиях единого энергетического рынка, разрешит сократить количество случаев превышения ограничений на потребление электрической энергии.

Результаты. Результатом выполненной работы являются разработанные алгоритмические и принципиальные схемы системы прогнозирования уровня потребления электрической энергии, которые позволяют оптимизировать в реальном времени работу нечёткой системы прогнозирования нагрузки путём оптимизации весовых коэффициентов её правил при помощи средств генетического алгоритма, что является основой для создания системы автоматического управления энергоснабжением предприятия.

Ключевые слова: автоматизация, нечеткая логика, генетический алгоритм, прогнозирование, спрос, электроэнергия, энергетическая биржа, энергетические сети.

Hramm O.O., Savytskyi O. I. Predictive electric network load assessment using combined intelligent systems for automatic power supply management

Purpose. To develop an industrial electrical energy consumption of predicting algorithm by using combined intelligent methods based on fuzzy logic and its optimization with genetic algorithm of reducing energy supply costs, improve the relia-

bility of the energy network and achieve maximum energy efficiency of an enterprise under the conditions of an energy market.

Research methods. The methods of the automatic production control systems theory, methods of automatic control systems optimization, methods of fuzzy logic and genetic algorithm, and methods of computer simulation are used.

Scientific novelty. The work has improved the neural network load forecasting algorithm by optimizing it with the means of a genetic algorithm that differs from the known ones due to weather conditions and daylight hours, which should provide a reduction of the relative forecasting error by 0.2 - 0.4% compared with the known methods.

Practical significance. Develop of a predictive load estimation algorithm based on a combination of neural networks and a genetic algorithm, which will reduce financial losses associated with excessive and insufficient electrical energy order sizes in a single energy market and leads to reducing of excess consumption restriction cases quantity.

Results. The performed work reluts in developing of algorithmic and schematic electric energy consumption level forecasting system diagrams that allows real-time fuzzy forecasting system operation optimization by changing fuzzy rules weights with genetic algorithm, which is the basis for creating the energy supply automatic control system.

Keywords: automation, fuzzy logic, genetic algorithm, forecasting, demand, electricity, energy market, energy networks.

УДК 622.625.28

Кальмус Д.О. Система керування тяговим електричним двигуном шахтного електровозу з релейним регулятором струму

Мета. Метою даної роботи є вдосконалення електричного приводу шахтного електровозу за рахунок застосування цифрової системи керування тяговим електричним двигуном з релейним регулятором струму, та знаходження за квадратичними критеріями оптимального за відхиленням керування, яке б забезпечувало максимальну швидкість при роботі шахтного електровозу в пунктах завантаження.

Методи дослідження. При проведенні розглянутого в статті дослідження було використано методи безпосереднього спостереження та вивчення режимів роботи та графіків навантаження електроприводів, загальна теорія навантажень електроприймачів із змінним графіком навантаження, а також методи синтезу оптимальних систем із застосуванням функції Белмана – Ляпунова.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є узагальнення відомих методів розрахунків імпульсних електромеханічних систем і формулювання на цій основі уніфікованого методу з розробкою цифрової системи керування, яка б забезпечила ефективне функціонування електричного приводу шахтного електровозу при роботі в пунктах завантаження.

Практична значимість. Отримані результати можна використовувати як розрахунково-аналітичний апарат на етапі ескізного проектування тягового електропривода при складанні методики розрахунку та розробки схемних рішень системи керування електромеханічними тяговими комплексами, а також для модернізації існуючого парку шахтного електровозного транспорту.

Результати. Вдосконалення теорії комплексного розрахунку систем з імпульсними перетворювачами та врахуванням процесів в системах регулювання й керування, а також специфіки експлуатації дозволить виконувати комплексне проектування систем імпульсного регулювання за критерієм досягнення найкращих показників роботи електровозів, тобто мінімальний шлях гальмування – максимальна зчїпна вага, для заданої технічної швидкості. Застосування цифрових систем керування значно полегшує розрахунки зовнішніх і регулювальних характеристик електропривода, а отже, чергове завдання полягає в тому, щоб розробити методику розрахунку систем з імпульсними перетворювачами, враховуючи при цьому процеси в системах регулювання й керування, а також обмеження при роботі електровозного складу, наприклад по відхиленню, кількості пусків та часу завантаження.

Ключові слова: шахтний електровоз, електричний двигун, релейний регулятор, математична модель.

Кальмус Д.О. Система управління тяговим електрическим двигателем шахтного електровоза с релейным регулятором тока

Цель. Целью данной работы является совершенствование электрического повода шахтного электровоза за счет применения цифровой системы управления тяговим электрическим двигателем с релейным регулятором тока, и нахождение по квадратичным критериям оптимального по отклонению управления, которое бы обеспечивало максимальное быстродействие при работе шахтного электровоза в пунктах погрузки.

Методы исследования. При проведении рассмотренного в статье исследования были использованы методы непосредственного наблюдения и изучения режимов работы и графиков нагрузки электроприводов, общая теория нагрузок электроприемопередатчиков с переменным графиком нагрузки, а также методы синтеза оптимальных систем с применением функции Беллмана - Ляпунова.

Научная новизна. Решение данной задачи составляет актуальность работы. Ее целью является обобщение известных методов расчетов импульсных электромеханических систем и формулировки на этой основе унифицированного метода с разработкой цифровой системы управления, которая бы обеспечила эффективное функционирование электрического повода шахтного электровоза при работе в пунктах погрузки.

Практическая значимость. Полученные результаты можно использовать в качестве расчетно-аналитический аппарат на этапе эскизного проектирования тягового электропривода при составлении методики расчета и разработки схемных решений системы управления электромеханическими тяговими комплексами, а также для модернизации существующего парка шахтного электровозного транспорта.

Результаты. Совершенствование теории комплексного расчета систем с импульсными преобразователями и учетом процессов в системах регулирования и управления, а также специфике эксплуатации позволит выполнять комплексное проектирование систем импульсного регулирования по критерию достижения наилучших показателей работы электровозов, то есть минимальный путь торможения - максимальный сцепной вес, для заданной технической скорости. Применение цифровых систем управления значительно облегчает расчеты внешних и регулировочных характеристик электропривода, а следовательно, очередное задание заключается в том, чтобы разработать методику рас-

чета систем с импульсными преобразователями, учитывая при этом процессы в системах регулирования и управления, а также ограничения при работе электроподвижного состава, например по отклонению, количеству пусков и времени погрузки.

Ключевые слова: шахтный электровоз, электрический двигатель, релейный регулятор, математическая модель.

Kalmus D. Control system by hauling electric motor of mine electric locomotive with relay regulator of current

Purpose. The perfection of electric drive of mine electric locomotive by means of application of the digital checking of hauling electric engine system with the relay regulator of current, and search of the optimal on exactness system, that will provide a maximal fast-acting during work of mine electric locomotive in the places of his loading.

Research methods. For research the methods of direct-viewing and study of charts of work of electric drive were used, general theory of chains of electric receivers with the load-graph that changes, and also methods of synthesis of the optimal systems with the use of function of Bellman - Lyapunov.

Scientific novelty. A decision of this task is actual. The aim of this research was application of the known methods of calculations of the impulsive systems and forming with their help of compatible method of calculation and development of digital control system, that will provide the effective functioning of electric drive of mine electric locomotive during work in the places of loading.

Practical value. The results of researches it can draw on for a calculation and analysis of the electric systems at planning of hauling electric drive, and similarly at development of methods of calculation of control system by hauling electric engines, and for modernization of mine electric locomotives that is used now.

Results. The theory of complex calculation of impulsive transformers was improved, by means of that it is possible takes into account processes in control system, and also office hours. It will allow executing planning of the systems that will provide a minimum way at braking of electric locomotive and maximal mass of train at the set technical speed. Application of digital control system facilitates the calculations of regulation descriptions of electric drive considerably. It is farther planned to work out methodology of calculation of the systems with impulsive transformers, that will take into account processes in control system, and also limitations during work of electric drive, for example on a rejection, amount of starting and time of loading.

Keywords: mine electric locomotive, electric engine, relay regulator, mathematical model.

УДК 622.03-047.58:622.22

Шолох М. В., Сергеева М. П. Аналіз моделювання природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві і залізорудній масі шахт і кар'єрів

Мета. Метою даної роботи є аналіз методів моделювання відособлених і взаємозалежних динамічних рядів природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин. Побудова моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічних рядів і використання базується на методах аналізу тимчасових рядів вмісту якісних показників корисних копалин.

Методи дослідження. Моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин пов'язане з узагальненням методу для ізольованих рядів. Розглянуто підходи для моделювання взаємозалежних динамічних рядів природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин. Побудовано адаптивну і дискретну лінійну модель прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічного ряду вмісту якісних показників корисних копалин множинної регресії та алгебраїчного критерію стійкості. Для моделей прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічних рядів вмісту якісних показників використано алгоритм Марквардта, а для нелінійного методу – метод найменших квадратів.

Наукова новизна. Для ілюстрації методики послідовних операцій ідентифікації моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин відособлених рядів вмісту якісних показників залізорудної маси для дільниць рудного тіла і покладів родовищ Кривбасу розглянуто приклади визначення центрованої постійної моделі прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак і розрахунок прогнозних оцінок вмісту якісних показників корисних копалин у масиві і залізорудній масі. Запроектовано рекомендації технології прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин окремих рівнів залізорудної маси з невеликими інтервалами дискретності.

Практична значимість. Рекомендована методика моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісних показників корисних копалин і побудова моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин динамічних рядів, обмежується двома взаємозалежними динамічними рядами вмісту якісних показників корисних копалин.

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

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

Шолох Н. В., Сергеева М. П. Анализ моделирования природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых в массиве и железорудной массе шахт и карьеров

Цель. Целью данной работы является анализ методов моделирования обособленных и взаимосвязанных динамических рядов природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых. Построение моделей прогнозирования характеристик объемно-качественных признаков динамических рядов и использования базируется на методах анализа временных рядов содержания качественных показателей полезных ископаемых.

Методы исследования. Моделирование взаимосвязанных динамических рядов содержания качественных показателей полезных ископаемых связано с обобщением метода для изолированных рядов. Рассмотрены подходы для моделирования взаимосвязанных динамических рядов природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых. Построено адаптивную и дискретную линейную модель прогнозирования характеристик объемно-качественных признаков динамического ряда содержания качественных показателей полезных ископаемых множественной регрессии и алгебраического критерия устойчивости. Для моделей прогнозирования характеристик объемно-качественных признаков динамических рядов содержания качественных показателей использован алгоритм Марквардта, а для нелинейного метода - метод наименьших квадратов.

Научная новизна. Для иллюстрации методики последовательных операций идентификации моделей прогнозирования природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых обособленных рядов содержания качественных показателей железорудной массы для участков рудного тела и залежей месторождений Кривбасса. Рассмотрены примеры определения централизованной постоянной модели прогнозирования характеристик объемно-качественных признаков и расчет прогнозных оценок содержания качественных показателей полезных ископаемых в массиве и железорудной массе. Запроектировано рекомендации технологии прогнозирования природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых отдельных уровней железорудной массы с небольшими интервалами дискретности.

Практическая значимость. Рекомендуемая методика моделирования взаимосвязанных динамических рядов содержания качественных показателей полезных ископаемых и построение моделей прогнозирования природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых динамических рядов, ограничивается двумя взаимосвязанными динамическими рядами содержания качественных показателей полезных ископаемых.

Результаты. Рассмотрены модели прогнозирования характеристик объемно-качественных признаков имеют высоко-адаптивные свойства, высокую точность прогнозирования и возможность моделирования нестационарных динамических рядов содержания качественных показателей полезных ископаемых. За счет эффективного статистического анализа информации прогнозирования характеристик объемно-качественных признаков отдельных уровней потоков железорудной массы, которые связаны технологическими процессами достигнуто обобщения методов прогнозирования изолированных рядов содержания качественных показателей полезных ископаемых на взаимосвязаны.

Ключевые слова: моделирование, динамические ряды, месторождение, железистые кварциты, объемно-качественные показатели.

Sholokh M. V., Sergieieva M. P. Analysis of the simulation of the natural-spatial location of the variability of the content of the qualitative indices of minerals in the array and iron ore of mines and quarries.

Purpose. To analyze the methods of simulation of isolated and interrelated dynamic series of natural-spatial placement of variability of content of qualitative indices of minerals. Construction of models for forecasting the characteristics of the volume-qualitative features of dynamic series and use is based on methods of analysis of time series of content of qualitative indices of minerals.

Research methods. The simulation of interconnected dynamic rows of contents of qualitative indices of minerals is related to the generalization of the method for isolated rows. Approaches for modeling of interrelated dynamic series of natural-spatial location of variability of content of qualitative indices of minerals are considered. An adaptive and discrete linear model for predicting the characteristics of the volume-qualitative features of the dynamic range of contents of the qualitative indices of minerals of multiple regression and algebraic stability criterion is constructed. For models of prediction of the characteristics of three-dimensional qualitative characteristics of the dynamic series of contents of qualitative indicators, the Marquardt algorithm was used, and for the nonlinear method, the least squares method was used.

Scientific novelty. To illustrate the methodology of sequential identification models of prediction models for natural and spatial location of the variability of content of qualitative indices of minerals of separate rows of content of qualitative indexes of iron ore mass for ore body sections and deposit deposits of Kryvbass, examples of determination of a centered permanent model of prediction of characteristics of three-dimensional qualitative characteristics and calculation of predictive estimates of the content of the qualitative indices of minerals in the array and iron ore mass. The recommendations of the technology of prediction of the natural-spatial location of the variability of the contents of the qualitative indices of minerals of individual levels of iron-ore mass with small intervals of discreteness were proposed.

Practical value. The recommended methodology for modeling interrelated dynamic rows of content of qualitative indices of minerals and the construction of models for predicting natural-spatial location of the variability of content of qualitative indices of minerals of dynamic series is limited by two interrelated dynamical rows of content of qualitative indices of minerals.

Results. The considered models of prediction of characteristics of three-dimensional qualitative features have high-adaptive properties, high accuracy of forecasting and the possibility of modeling non-stationary dynamic rows of content of qualitative indices of minerals. Due to the effective statistical analysis of information, prediction of the characteristics of volumetric-quality characteristics of individual levels of iron ore flows, the connection of technological processes with the generalization of methods of forecasting isolated rows of contents of qualitative indices of minerals on interconnected ones has been achieved.

Keywords: modeling, dynamic series, deposit, ferruginous quartzites, volume-quality indicators.

УДК 622.235

Антонов А.Ю., Мец Ю.С., Федоренко П.И. Исследование усталостного микросекундного взрывания

Цель. Установление зависимости качества дробления от эффекта усталости горных пород при многократно повторяющихся взрывных нагрузках.

Методы исследований. Проведенные теоретические изыскания и анализ циклического воздействия нагрузок механического характера на образцы различных горных пород подтвердили актуальность лабораторных исследований и

дальнейшего промышленного эксперимента по изучению влияния многократных взрывных нагрузок и инициируемого ими эффекта усталости на прочностные свойства пород и качественные показатели разрушения.

Научная новизна. Изучен механизм циклического взрывного нагружения различной интенсивности, установлен экстремальный характер влияния взрывной усталости на качество дробления горных пород, получены новые возможности для разрушения массива.

Практическое значение. Решения, явившиеся результатом настоящих исследований, позволяют использовать эффект усталости горных пород при проектировании и проведении взрывных работ. Предложенные вариации использования данного эффекта практически не усложнят работы по монтажу взрывной сети, а дополнительные расходы будут минимальными. Использование эффекта усталости позволяет увеличить величину вновь образованной свободной поверхности и, соответственно, улучшить качество дробления при постоянных удельных расходах ВВ, а без повышения качества дробления можно существенно снизить энергозатраты на разрушение горных пород.

Результаты. Установлены зависимости качества дробления от числа циклов неразрушающего нагружения. При этом доказано наличие оптимального количества циклов, при которых эффект усталости наиболее эффективен. Так, дроблению способствует начальная стадия явления усталости (процесс разупрочнения), когда из общей массы микротрещин еще не начался рост крупных трещин. Насыщенные микротрещинами породы легче и «качественнее» разрушаются на отдельности при взрывании основных зарядов. Вновь образованная поверхность на 30% больше, чем при взрывном разрушении без предварительного нагружения. Установлено, что максимальный результат достигается при повышенных удельных расходах ВВ с использованием малых интервалов замедлений (500-2500 мкс) между скважинами в ряду или встречно-направленным развитием взрыва между скважинами ряда или смежных рядов. Промышленные эксперименты подтвердили полученные зависимости для оптимизации нагрузок на разрушаемые породы с целью улучшения качества дробления. Реализация эффекта взрывной усталости при производстве массовых взрывов осуществлена на ряде карьеров Кривбасса. Установлено снижение выхода крупных классов (+400мм) в 1,5 раза и уменьшение диаметра среднего куска на 35%.

Ключевые слова: горные породы, взрывное нагружение, эффект усталости, циклические нагрузки, динамика разрушения.

Антонов А.Ю., Мец Ю.С., Федоренко П. И. Дослідження втомного мікросекундного підривання

Мета. Встановлення залежності якості дроблення від ефекту втоми гірських порід при вибухових навантаженнях, що багаторазово повторюються.

Методи досліджень. Проведено теоретичні дослідження і аналіз циклічної дії навантажень механічного характеру на зразки різних гірських порід підтвердили актуальність лабораторних досліджень і подальшого промислового експерименту по вивченню впливу багатократних вибухових навантажень і ефекту втоми, що ініціювався ними, на прочностні властивості порід і якісні показники руйнування.

Наукова новизна. Вивчений механізм циклічного вибухового навантаження різної інтенсивності, встановлений екстремальний характер впливу вибухової втоми на якість дроблення гірських порід, дістали нові можливості для руйнування масиву.

Практичне значення. Рішення, що стали результатом справжніх досліджень, дозволяють використовувати ефект втоми гірських порід при проектуванні і проведенні вибухових робіт. Запропоновані варіації використання цього ефекту практично не ускладнять роботи по монтажу вибухової мережі, а додаткові витрати будуть мінімальними. Використання ефекту втоми дозволяє збільшити величину знову освіченої вільної поверхні і, відповідно, поліпшити якість дроблення при постійних питомих витратах ВВ, а без підвищення якості дроблення можна істотно понизити енерговитрати на руйнування гірських порід.

Результати. Встановлено залежності якості дроблення від числа циклів неруйнівного навантаження. При цьому доведена наявність оптимальної кількості циклів, при яких ефект втоми найбільш ефективний. Так, дробленню сприяє початкова стадія явища втоми (процес разупрочнення), коли із загальної маси микротрещин ще не почалося зростання великих тріщин. Насичені микротрещинами породи легше і "якісніше" руйнуються на окремість при підриванні основних зарядів. Знову освічена поверхня на 30% більша, ніж при вибуховому руйнуванні без попереднього навантаження. Встановлено, що максимальний результат досягається при підвищених питомих витратах ВВ з використанням малих інтервалів уповільнень (500-2500 мкс) між свердловинами в ряду або зустрічно-спрямованим розвитком вибуху між свердловинами ряду або суміжних рядів. Промислові експерименти підтвердили отримані залежності для оптимізації навантажень на руйновані породи з метою поліпшення якості дроблення. Реалізація ефекту вибухової втоми при виробництві масових вибухів здійснена на ряду кар'єрів Кривбасу. Встановлено зниження виходу великих класів (+400мм) в 1,5 рази і зменшення діаметру середнього шматка на 35%.

Ключові слова: гірські породи, вибухове навантаження, ефект втоми, циклічні навантаження, динаміка руйнування.

Antonov A.Yu., Mets Yu.S., Fedorenko P.I. Research of microsecond fatigue blasting

Purpose. To determine the quality of crushing depending on the effect of fatigue rocks with repeated explosive loads.

Research methods. Theoretical studies and analysis of the cyclical effect of mechanical loads on various rocks confirmed the relevance of laboratory studies and further industrial experiment to study the effect of multiple explosive loads and the effect of fatigue they initiate on the strength properties of rocks and quality fracture indicators.

Scientific novelty. The mechanism of cyclic explosive loading of varying intensity has been studied, the extreme nature of the effect of explosive fatigue on the crushing quality of rocks has been established, new opportunities have been obtained for the destruction of the massif.

Practical value. The results of the study allow you to use the effect of fatigue rocks in the design and blasting. The proposed variations in the use of this effect hardly complicate the installation of an explosive network, and the additional costs are minimal. Using the effect of fatigue allows to increase the value of the newly formed free surface and, accordingly, to improve the quality of crushing at constant specific costs of explosives, and without improving the quality of crushing, you can significantly reduce energy consumption for the destruction of rocks.

Results. The dependences of the quality of crushing on the number of cycles of non-destructive loading are established. It was proved that there is an optimal number of cycles at which the effect of fatigue is most effective. The fragmentation is facilitated by the initial stage of the phenomenon of fatigue (the process of softening), when the growth of large cracks has not yet begun from the total mass of microcracks. The rocks saturated with microcracks are lighter and “more qualitatively” destroyed separately when the main charges are blown up. Industrial experiments confirmed the dependences obtained to optimize the loads on the rock to be destroyed in order to improve the quality of crushing.

Keywords: rocks, explosive loading, fatigue effect, cyclic loads, fracture dynamics.

УДК 622.7.33.051

Булах О.В. Метод отримання високих якісних показників збагачення при переробці окислених руд

Мета. Визначення можливості отримання високоякісного концентрату при збагаченні окислених залізистих кварцитів.

Методи дослідження. Аналіз раніше виконаних досліджень і розробок з переробки окислених залізних руд в Україні, СНД і країнах далекого зарубіжжя. При аналізі технологій переробки окислених руд, що дозволяють отримувати високоякісні концентрати з'ясовано, що найбільш перспективним напрямком робіт з підвищення якості концентрату є зниження вмісту шламів, утворених при рудопідготовці, які в подальшому погіршують якість магнітного продукту.

Наукова новизна. Ефективність переробки окислених залізистих кварцитів досягається шляхом оптимізації глибини їх збагачення, дозволяючи визначити граничні умови механічних методів розділення на основі розкриття, знешламлювання, магнітної сепарації мінеральних компонентів. Вибір оптимального технологічного обладнання для збагачення окислених руд здійснюється на основі показників ефективності розділення.

Практична значимість. Підвищення ефективності процесів рудопідготовки і магнітної сепарації завдяки оптимізації глибини збагачення, зниженні процесу шламоутворення, та на основі поліпшення параметрів розкриття і сепарації мінеральних компонентів.

Результати. З'ясовано, що одним з основних методів збагачення окислених кварцитів є магнітне збагачення сировини у сильному полі. При використанні цього процесу основною проблемою отримання високоякісних концентратів є взаємна флокуляція рудних та нерудних частинок, а також наявність у сировині гідроксидів заліза, що утворюють плівку на поверхні нерудних мінералів і тим самим, за рахунок вилучення цих комплексів у концентрат, знижують якість кінцевих продуктів. На цій підставі виконано дослідження з магнітного збагачення окислених руд з попереднім знешламлюванням подрібненого матеріалу. За результатами досліджень знешламлювання подрібненої руди перед збагаченням підвищує якість магнітного продукту та знижує втрати загального заліза в немагнітному продукті. Наслідком процесу знешламлювання подрібненої руди є підвищення магнітної сприйнятливості для рудних зерен і зниження її для нерудних зерен. Дані дослідження дозволили визначити процес зниження контрастності рудних і нерудних мінеральних зерен в процесі подрібнення окислених залізистих кварцитів за рахунок покриття поверхневого шару дисперсними частками відповідно нерудних і рудних мінералів.

Ключові слова: окислені залізисті кварцити, подрібнення, знешламлювання, магнітна сепарація, концентрат.

Булах А.В. Метод получения высоких качественных показателей обогащения при переработке окисленных руд

Цель. Определение возможности получения высококачественного концентрата при обогащении окисленных железистых кварцитов.

Методы исследования. Анализ ранее выполненных исследований и разработок по переработке окисленных железных руд в Украине, СНГ и странах дальнего зарубежья. При анализе технологий переработки окисленных руд, позволяющие получать высококачественные концентраты выяснено, что наиболее перспективным направлением работ по повышению качества концентрата является снижение содержания шламов, образованных при рудоподготовке, которые в дальнейшем ухудшают качество магнитного продукта.

Научная новизна. Эффективность переработки окисленных железистых кварцитов достигается путем оптимизации глубины их обогащения, позволяя определить граничные условия механических методов разделения на основе раскрытия, обесшламливание, магнитной сепарации минеральных компонентов. Выбор оптимального технологического оборудования для обогащения окисленных руд осуществляется на основе показателей эффективности разделения.

Практическая значимость. Повышение эффективности процессов рудоподготовки и магнитной сепарации благодаря оптимизации глубины обогащения, снижению процесса шламообразования, и на основе улучшения параметров раскрытия и сепарации минеральных компонентов.

Результаты. Установлено, что одним из основных методов обогащения окисленных кварцитов является магнитное обогащение сырья в сильном поле. При использовании этого процесса основной проблемой получения высококачественных концентратов является взаимная флокуляция рудных и нерудных частиц, а также наличие в сырье гидроксидов железа, образующих пленку на поверхности нерудных минералов и тем самым, за счет извлечения этих комплексов в концентрат, снижают качество конечных продуктов. На этом основании выполнено исследование по магнитному обогащению окисленных руд с предварительным обесшламливанием измельченного материала. По результатам исследований обесшламливание измельченной руды перед обогащением повышает качество магнитного продукта и снижает потери общего железа в немагнитной продукте. Следствием процесса обесшламливания измельченной руды является повышение магнитной восприимчивости для рудных зерен и снижение ее для нерудных зерен. Данные исследования позволили определить процесс снижения контрастности рудных и нерудных минеральных зерен в процессе измельчения окисленных железистых кварцитов за счет покрытия поверхностного слоя дисперсными частицами в соответствии нерудных и рудных минералов.

Ключевые слова: окисленные железистые кварциты, измельчение, обесшламливание, магнитная сепарация, концентрат.

Bulakh O.V. High quality indicators of enrichment in the processing of oxidized ores

Purpose. Determination of the possibility of obtaining high-quality concentrate enriched with oxidized ferruginous quartzites.

Research methods. Analysis of previously performed researches and developments on the processing of oxidized iron ores in Ukraine, the CIS and distant foreign countries. In analyzing the technologies of processing of oxidized ores, allowing to receive high-quality concentrates it was found out that the most promising improving the quality of concentrate is to reduce the content of sludges formed during ore preparation, which further degrade the quality of the magnetic product.

Scientific novelty. The efficiency of processing of oxidized ferruginous quartzites is achieved by optimizing the depth of their enrichment, allowing to determine the boundary conditions of mechanical separation methods based on the disclosure, desliming, and magnetic separation of mineral components. The choice of optimal process equipment for the enrichment of oxidized ores is based on the performance of the separation.

Practical value. Improving the efficiency of the ore preparation and magnetic separation by optimizing the depth of enrichment, reducing the sludge process on the basis of improving the parameters of the opening and separation of mineral components.

Results. It was found out that one of the main methods of enrichment of oxidized quartzites is the magnetic enrichment of raw materials in a strong field. With the use of this process, the main problem of obtaining high-quality concentrates is the mutual flocculation of the ore and non-metallic particles, as well as the presence of iron hydroxides in the raw materials, forming a film on the surface of non-metallic minerals, and thus, by reducing these complexes into a concentrate, reduces the quality of the final products. On this basis, a study was conducted on the magnetic enrichment of oxidized ores with the desliming of the crushed material. According to the results of research, the loss of crushed ore before enrichment increases the quality of the magnetic product and reduces the loss of total iron in a nonmagnetic product. The result of the process of desliming of crushed ore is to increase the magnetic susceptibility of ore grains and reduce it for non-metallic grains. These studies allowed to determine the process of reducing the contrast of ore and nonmetallic mineral grains in the process of crushing oxidized ferruginous quartzites by coating the surface layer with dispersed particles, respectively, of nonmetallic and ore minerals.

Keywords: oxidized ferruginous quartzites, crushing, desliming, magnetic separation, concentrate

УДК 622.341.1:620.17

Савельев С.Г., Кондратенко М.Н. Анализ характера движения частиц агломерата при определении его прочности во вращающемся барабане

Показано большое значение механической прочности агломерата для улучшения технико-экономических показателей доменной плавки. Наиболее распространенными показателями механической прочности является результаты барабанного испытания агломерата, которые в значительной степени обусловлены характером движения материала в ходе испытания. Понимание характера движения отдельных частиц материала в ходе барабанного испытания позволяет подойти к прогнозной оценке ударных и истирающих усилий, оказываемых на пробу.

Целью работы является анализ характера движения частиц пробы агломерата в процессе ее обработки во вращающемся барабане по стандартной методике.

Методы научного исследования. В работе использованы общелогические методы научного исследования – анализ и синтез, аналогия, обобщение.

Научная новизна работы состоит в развитии на основе теоретических расчетов и анализа полученных результатов представлений о характере движения частиц пробы агломерата в процессе ее обработки во вращающемся барабане по стандартной методике. Показано, что характерные особенности барабанного испытания – низкая степень заполнения барабана (на уровне $1,9 \div 2,2$ %), неоднородность гранулометрического состава пробы и его изменчивость в процессе испытания, наличие на внутренней поверхности барабана двух симметрично расположенных полочек, высота которых больше максимального размера куска агломерата – обуславливают неодинаковый характер движения отдельных частей.

Практическая значимость работы заключается в получении исходных данных для дальнейшего исследования процесса обработки материала во вращающемся барабане с целью количественного определения частей пробы, отличающихся характером движения, а также оценки ударных и истирающих нагрузок, испытываемых различными частями пробы в ходе барабанного испытания по стандартной методике.

Результаты работы свидетельствуют о том, что те части пробы, которые не удерживаются полочками, движутся в режиме переката или каскадном. А те части пробы, которые удерживаются полочками, в зависимости от крупности, будут либо центрифугировать, либо падать вертикально вниз, достигнув верхней точки окружности барабана.

Ключевые слова: агломерат, проба, барабанное испытание, частица, характер движения

Савельев С.Г., Кондратенко М.М. Аналіз характеру руху часточок агломерату при визначенні його міцності в обертовому барабані

Показано велике значення механічної міцності агломерату для покращення техніко-економічних показників доменної плавки. Найбільш розповсюдженими показниками механічної міцності є результати барабанного випробування агломерату, які значною мірою обумовлені характером руху матеріалу в ході випробування. Розуміння характеру руху окремих часточок матеріалу в ході барабанного випробування дозволяє підійти до прогновної оцінки ударних та стируючих зусиль, що чиняться на пробу.

Метою роботи є аналіз характеру руху часточок проби агломерату в процесі її обробки в обертовому барабані за стандартною методикою.

Методи наукового дослідження. В роботі використані загальнологічні методи наукового дослідження – аналіз та синтез, аналогія, узагальнення.

Наукова новизна роботи полягає у розвитку на основі теоретичних розрахунків і аналізу отриманих результатів уявлень про характер руху часточок проби агломерату в процесі її обробки в обертовому барабані за стандартною методикою. Показано, що характерні особливості барабанного випробування – низький степінь заповнення барабану (на рівні $1,9 \div 2,2\%$), неоднорідність гранулометричного складу проби та його мінливість у процесі випробування,

наявність на внутрішній поверхні барабану двох симетрично розташованих полицок, висота яких більша за максимальний розмір шматка агломерату – обумовлюють неоднаковий характер руху окремих частин.

Практична значимість роботи полягає в отриманні вхідних даних для подальшого дослідження процесу обробки матеріалу в обертовому барабані з метою кількісного визначення частин проби, що відрізняються характером руху, а також оцінки ударних та стираючих навантажень, що зазнають різні частини проби під час барабанного випробування за стандартною методикою.

Результати роботи свідчать про те, що ті частини проби, які не утримуються полицками, рухаються в режимі перекату або каскадному. А ті частини проби, що утримуються полицками, в залежності від великості, будуть або центрифугувати, або падати вертикально вниз після досягнення верхньої точки кола барабану.

Ключові слова: агломерат, проба, барабанне випробування, частка, характер руху

Saveliev S.G., Kondratenko M.M. A motion of particles of the agglomerate when determining its strength in a rotating drum

Purpose is to analyze the way of the movement of particles of an agglomerate sample during its processing in a rotating drum according to standard methods.

Research methods. The general logical methods of scientific research are used: analysis and synthesis, analogy, generalization.

Scientific novelty of the work consists in development of ideas about the way of the motion of particles of an agglomerate sample during its processing in a rotating drum according to standard methods based on theoretical calculations and analysis. It is shown that the characteristic feature of the drum test is a low degree of drum filling (at 1.9÷2.2%), heterogeneity of the sample's particle size distribution and its variability during the test, the presence on the inner surface of the drum of two symmetrically arranged shelves whose height is greater than the maximum the size of the agglomerate piece is caused by the uneven nature of the movement of individual parts.

Practical value of the work is to obtain baseline data for further processing of the material in a rotating drum in order to quantify parts of the sample, differing in the nature of movement, as well as evaluation of shock and abrasive loads tested by various parts of the sample during the drum test according to standard methods.

Results of the work indicate that those parts of the sample that are not held by the shelves, move in roll or cascade way. And those parts of the sample that are held by the shelves, depending on the size, will either be centrifuged or fall vertically downwards, reaching the upper point of the drum circumference.

Keywords: agglomerate, sample, drum test, particle, nature of motion.

УДК 681.5:621.311.243

Романов С. О., Савицький О.І. Моніторинг, діагностика та прогнозування вихідної потужності геліостанцій за умови роботи в інтелектуальних електромережах

Мета. Метою даної роботи є аналіз та обґрунтування вибору системи моніторингу, діагностики та прогнозування стану систем сонячних панелей та рівня генерації електричної енергії з використанням інтелектуальних методів для розрахунку електричних параметрів фотоелектричної системи. Складність та масштабність системи, функціонування системи в умовах невизначеності, а також динамічність її процесів зумовлює використання нестандартного підходу для отримання та використання інформації про стан геліостанції у режимі реального часу.

Методи дослідження. Для вирішення поставленої задачі у роботі використовуються методи теорії систем автоматичного керування, методи оптимізації систем діагностики автоматичного керування, методи нечіткої логіки, методи інтелектуального збору та аналізу даних.

Наукова новизна. У роботі покращена ефективність моніторингу, діагностики та прогнозування стану сонячних систем за рахунок скорочення помилки системи прогнозування на основі інтелектуальних методів для підвищення точності розрахунку електричних параметрів системи з урахуванням зовнішнього середовища. Дана стаття розглядає можливість використання традиційного методу розрахунку електричних параметрів геліостанції у поєднанні з інтелектуальними системами керування, на основі адаптивних нейро-нечітких мереж або з використанням штучного інтелекту.

Практична значимість. На основі проведеного аналізу існуючих методів моніторингу та діагностики вирішено питання покращення ефективності моніторингу, швидкості діагностики та підвищення точності прогнозування стану фотоелектричних панелей за допомогою інтелектуальних систем.

Результати. Обґрунтовано алгоритм системи моніторингу, діагностики та прогнозування стану сонячних панелей та рівня генерації електричної енергії. Даний алгоритм дозволяє розраховувати електричні параметри системи, враховуючи основні параметри навколишнього середовища та мережі, у якій функціонує геліостанція. Напрямою подальших досліджень є розробка системи прогнозування на основі комбінації обраного алгоритму з інтелектуальними системами збору та аналізу даних, її імітаційного моделювання та оцінки якості її функціонування

Ключові слова: автоматизація, інтелектуальні системи, моніторинг, діагностика, прогнозування стану, сонячні панелі, геліостанція, електроенергія.

Романов С. А., Савицький А. И. Мониторинг, диагностика и прогнозирование выходной мощности гелиостанций при работе в интеллектуальных электросетях

Цель. Целью данной работы является анализ и обоснование выбора системы мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния систем солнечных панелей и уровня генерации электрической энергии с использованием интеллектуальных методов для расчета электрических параметров фотоэлектрической системы. Сложность и масштабность системы, функционирование системы в условиях неопределенности, а также динамичность ее процессов предопределяет использование нестандартного подхода для получения и использования информации о состоянии гелиостанции в режиме реального времени.

Методи дослідження. Для рішення поставленої задачі в роботі використовуються методи теорії систем автоматичного управління, методи оптимізації систем діагностики автоматичного управління, методи нечіткої логіки, методи інтелектуального збору і аналізу даних.

Научна новизна. В роботі удосконалено ефективність моніторингу, діагностики і прогнозування стану сонячних систем за рахунок скорочення помилки системи прогнозування на основі інтелектуальних методів для підвищення точності розрахунку електричних параметрів системи з урахуванням зовнішнього середовища. Данна стаття розглядає можливість використання традиційного методу розрахунку електричних параметрів геліостанції в поєднанні з інтелектуальними системами управління на основі адаптивних нейро-нечітких мереж або з використанням штучного інтелекту.

Практична значимість. На основі проведеного аналізу існуючих методів моніторингу і діагностики вирішено питання підвищення ефективності моніторингу, швидкості діагностики і підвищення точності прогнозування стану сонячних фотоелектричних панелей з допомогою інтелектуальних систем.

Результати. Обґрунтовано алгоритм системи моніторингу, діагностики і прогнозування стану сонячних панелей і рівня генерації електричної енергії. Даний алгоритм дозволяє розраховувати електричні параметри системи, враховуючи основні параметри навколишнього середовища і мережі, в якій працює геліостанція. Напрямок подальших досліджень являється розробкою системи прогнозування на основі комбінації вибраного алгоритму з інтелектуальними системами збору і аналізу даних, її імітаційного моделювання і оцінки якості її функціонування.

Ключові слова: автоматизація, інтелектуальні системи, моніторинг, діагностика, прогнозування стану сонячних панелей, геліостанція, електроенергія.

Romanov S. O., Savytskyi O. I. Monitoring, diagnostics and forecasting the output power of the solar station in the intellectual electrical mechanisms

Purpose. To analyze and justify the selection of a system for monitoring, diagnosis and prediction of the state of solar panels and the level of generation of electric energy using intelligent methods for calculating electrical parameters of the photovoltaic system. The complexity and scale of the system, the functioning of the system under uncertainty, as well as the dynamism of its processes, results in the use of a non-standard approach for obtaining and using information about the state of the solar station in real time.

Research methods. The methods of the theory of automatic control systems, methods of optimization of automatic control systems diagnostics, methods of fuzzy logic, methods of intellectual gathering and data analysis are used in the work.

Scientific novelty. The efficiency of monitoring, diagnostics and prediction of the state of solar systems is improved by reducing the prediction error on the basis of intelligent methods to improve the accuracy of the calculation of the electrical parameters of the system, taking into account the external environment. This article examines the possibility of using the traditional method of calculating the electrical parameters of the solar station in conjunction with intelligent control systems, based on adaptive neuro-fuzzy networks or using artificial intelligence.

Practical significance. On the basis of the analysis of existing monitoring and diagnostic methods, the problem of improving the monitoring efficiency, diagnostic speed and increasing the accuracy of the prediction of the state of photovoltaic panels with the help of intelligent systems was solved.

Results The algorithm of the system of monitoring, diagnostics and forecasting of the status of solar panels and the level of generation of electric energy is substantiated. This algorithm allows you to calculate the electrical parameters of the system, taking into account the basic parameters of the environment and the grid in which the solar station operates. The direction of further research is the development of a forecasting system based on a combination of the chosen algorithm and intelligent systems for data collection and analysis, its simulation modeling and evaluation of its functioning.

Keywords: automation, intelligent systems, monitoring, diagnostics, state forecasting, solar panels, solar power station, electricity.

УДК 666.97

Коверніченко Л.М., Хільченко О.П. Бетони на штучному пористому заповнювачі - актипорориту із техногенних відходів промислових підприємств Кривого Рогу

Мета. Метою дослідження є отримання штучного пористого заповнювача виготовленого із техногенної сировини гірничо-металургійних підприємств Кривого Рогу високої якості з порівняно низькою енергоємністю та бетонів на його основі.

Сучасний напрямок у виробництві будівельних конструкцій ґрунтується на застосуванні легких і полегшених бетонів, для виробництва яких необхідно використовувати легкі заповнювачі.

Сьогодні будівельні матеріали і вироби виготовляють, в основному, з природної сировини і рідше з побічних продуктів промисловості. Проте, щорічно здобич у великих кількостях сировини за наявності взаємозамінних техногенних відходів інших галузей промисловості погіршує екологічну обстановку. Техногенні відходи – це відходи виробництва, які шкідливо впливають на життєдіяльність людини та навколишнє середовище. Тому, що часто відходи підприємств викидають на звалище, оскільки не вважається потрібним їх використання в індустрії будівельних матеріалів.

Методи. Для вирішення цієї мети застосовувалися стандартні та спеціальні методи для визначення й дослідження властивостей компонентів та складу шихти, а також сировинних гранул заповнювача. Для обробки результатів експериментів використовували статистичний аналіз.

Наукова новизна. Проведенні наукові дослідження дали змогу розробити технологію виготовлення штучного пористого заповнювача – актипорориту на основі техногенних промислових відходів.

Практична значимість. У Криворізькому залізрудному басейні збагачення залізних руд гірничо-металургійними комбінатами супроводжується утворенням великої кількості відходів до 50% від їх початкової маси. Ці відходи погіршують екологічну ситуацію на Криворіжжі та їх можна розглядати як штучно створену сировинну базу для будівництва та виготовлення будівельних матеріалів.

Застосування техногенних відходів в технології виготовлення пористих заповнювачів розширює сировинну базу, зменшує матеріальні витрати та енергоресурси на виробництво і покращує екологічну обстановку.

Результати. Виконані дослідження дозволили розробити спосіб виробництва штучного пористого заповнювача для бетону – актипориту із техногенної сировини гірничо-металургійних підприємств Кривого Рогу. Даний спосіб і використані компоненти шихти відрізняються від відомих і забезпечують отримання легкого заповнювача - актипориту досить високої якості із економією енерговитрат.

Ключові слова: актипорит, техногенні відходи, актипоритобетон, міцність актипоритобетону, щільність актипоритобетону.

Коверниченко Л.Н., Хильченко О.П. Бетони на искусственных пористых - актипориту с техногенных отходов промышленных предприятий Кривого Рога

Цель. Современное направление в производстве строительных конструкций основывается на применении легких и облегченных бетонов, для производства которых необходимо использовать легкие заполнители [1].

Сегодня строительные материалы и изделия изготавливают в основном из природного сырья и реже из побочных продуктов промышленности. Однако, ежегодно добычу в больших количествах сырья при наличии взаимозаменяемых техногенных отходов других отраслей промышленности ухудшает экологическую обстановку. Техногенные отходы - это отходы производства, которые вредно влияют на жизнедеятельность человека и окружающую среду. Поэтому часто отходы предприятий выбрасывают на свалку, поскольку не считается нужным их использования в индустрии строительных материалов .

Цель. Целью исследования является получение искусственного пористого заполнителя изготовленного из техногенного сырья горно-металлургических предприятий Кривого Рога высокого качества со сравнительно низкой энергоемкостью и бетонов на его основе.

Методы. Для решения этой цели применялись стандартные и специальные методы для определения и исследования свойств компонентов и состава шихты, а также сырьевых гранул заполнителя. Для обработки результатов экспериментов использовали статистический анализ.

Научная новизна. Проведении научные исследования позволили разработать технологию изготовления искусственного пористого заполнителя - актипориту на основе техногенных промышленных отходов.

Практическая значимость. В Криворожском железорудном бассейне обогащения железных руд горно-металлургическими комбинатами сопровождается образованием большого количества отходов до 50% от их первоначальной массы. Эти отходы ухудшают экологическую ситуацию на Криворожье и их можно рассматривать как искусственно созданную сырьевую базу для строительства и изготовления строительных материалов.

Применение техногенных отходов в технологии изготовления пористых заполнителей расширяет сырьевую базу, уменьшает материальные затраты и энергоресурсы на производство и улучшает экологическую обстановку.

Результаты. Выполненные исследования позволили разработать способ производства искусственного пористого заполнителя для бетона - актипориту с техногенного сырья горно-металлургических предприятий Кривого Рога. Данный способ и использованы компоненты шихты отличаются от известных и обеспечивают получение легкого заполнителя - актипориту достаточно высокого качества с экономией энергозатрат.

Ключевые слова: актипорит, техногенные отходы, актипоритобетон, прочность актипоритобетону, плотность актипоритобетону.

Kovernichenko L.M., Khilchenko O.P. Concretes on artificial expanded aggregate - actipororite from technogenic waste of industrial enterprises of Kryvyi Rih

Purpose. To obtain an artificial expanded aggregate, made of technogenic raw materials of the mining and metallurgical enterprises of Kryvyi Rih, of high quality with a relatively low energy intensity and concrete on its basis.

The modern direction in the production of building constructions is based on the use of light and lightweight concretes, for the manufacture of which the use lightweight aggregates is required.

Today, building materials and products are made mainly of natural raw materials and rarely of the by-products of industry. However, annual production of raw materials in large quantities, with the presence of substitutable technogenic wastes in other industries, worsens the ecological situation. Technogenic waste is the production waste that has harmful influence on human life and the environment. Often, the waste of enterprises is thrown into a waste dump because it is not considered necessary to use them in the building materials industry.

Research methods. For this purpose, standard and special methods were used to determine and study the properties of the components and composition of the charge material, as well as the raw granules of aggregate. Statistical analysis was used to process the results of experiments.

Scientific novelty. The conducted scientific researches have made it possible to develop a technology for the production of artificial expanded aggregate - actipororite on the basis of technogenic industrial waste.

Practical value. In Kryvyi Rih iron ore basin, the enrichment of iron ores in mining and metallurgical works is accompanied by the formation of a large amount of waste up to 50% of their initial mass. These wastes aggravate the environmental situation in Kryvorizhia and can be considered as an artificially created raw material base for the construction and manufacturing of building materials.

The use of technogenic waste in the technology of manufacturing of expanded aggregates extends the raw material base, reduces material costs and energy resources for production and improves the ecological situation.

Results. The performed researches allowed to develop a method of production of artificial expanded aggregates for concrete - actipopor from technogenic raw materials of mining and metallurgical enterprises of Kryvyi Rih. This method and the used components of the charge material differ from the known ones and provide the obtaining of a light aggregate - actipororite of rather high quality with energy saving.

Keywords: actipororite, technogenic waste, actipororite concrete, durability of actipororite concrete, density of actipororite concrete.

УДК 621.771

Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Технологія виготовлення надпровідного матеріалу обробкою металів тиском**Мета:** розробити технологічний процес виготовлення надпровідного матеріалу обробкою металів тиском та сплавів прокатуваними, який дозволить збільшити інтервал температур, де електричний опір провідника падає до нуля, що відкриває можливість зробити виробництво надпровідного продукту більш масовим, простим і дешевшим.**Методи:** засновані на використанні теоретичного аналізу і експериментальної перевірки прийнятих гіпотез і отриманих результатів. Основу теоретичних досліджень складають основні положення металознавства, механіки суцільних середовищ, теорії плинності. В експериментальних дослідженнях використовувалися стандартні методи та технології визначення залежності електроопору матеріалу від режимів обробки тиском.**Наукова новизна** полягає у виявленні способів утворення надпровідного матеріалу, що здатен працювати в умовах оточуючого природного середовища, без додаткових охолоджувачів, зосередивши зони окислів у центрі циліндричного виробу за допомогою обробки безперервно-ливої заготовки поперечно-гвинтовим прокатуванням.**Практична значимість:** полягає у розробці технологічного процесу з використанням валкової розливки та обробки металів тиском у прокатних валках поперечно-гвинтового прокатування, що дозволяє отримати продукт з характеристиками надпровідного матеріалу, який може працювати при температурі оточуючого середовища без додаткових охолоджувачів.**Результати:** виявлено, що електричний опір провідника може падати до нуля при охолодженні його до температури нижче критичної, а також при утворенні домішок і інших дефектів структури, які виникають при пластичній деформації сталі, що зменшує її електричний опір шляхом утворення розпушення металу дислокаціями і дефектами в структурі. Таке місце, де буде наявність домішок і дефектів структури в металічних зразках можна штучно створити при виробництві металевих труб. При поперечно-гвинтовій деформації під час обтиснення сталі періодично змінними напруженнями на стиснення і розтягування, а особливо при тангенційних напруженнях на зсув, які розпушують сталь, утворюється пористість в матеріалі і формується волокниста структура, що дозволяє покращити електропровідність матеріалу.**Ключові слова:** надпровідний матеріал, поперечно-гвинтове прокатування, критична температура, відсутність електроопору, дефекти кристалічної структури.**Чубенко В.А., Хиноцкая А.А.** Технология изготовления сверхпроводимого материала обработкой металлов давлением**Цель:** разработать технологический процесс изготовления сверхпроводимого материала обработкой металлов и сплавов прокатыванием, который позволит увеличить интервал температур, где электрическое сопротивление проводника падает до нуля, что откроет возможность сделать производство сверхпроводимого продукта более массовым, простым и дешевым.**Методы:** основаны на использовании теоретического анализа и экспериментальной проверки принятых гипотез и полученных результатов. Основу теоретических исследований составляют основные положения материаловедения, механики сплошных сред, теории текучести. В экспериментальных исследованиях использовались стандартные методы и технологии определения зависимости электросопротивления материала от режимов обработки металлов давлением.**Научная новизна:** заключается в выявлении способов получения сверхпроводимого материала, который способен работать в условиях окружающей природной среды, без дополнительных охладителей, сосредоточив окисидные зоны в центре цилиндрического изделия при помощи обработки непрерывно литой заготовки поперечно-винтовым прокатыванием.**Практическое значение** заключается в разработке технологического процесса с использованием валковой разливки и обработки металлов давлением в прокатных валках поперечно-винтового прокатывания, что позволяет получить продукт с характеристиками сверхпроводимого материала, который может работать при температуре окружающей среды без дополнительных охладителей.**Результаты:** выявлено, что электрическое сопротивление проводника может падать до нуля при охлаждении его до температуры ниже критической, а также при образовании примесей и других дефектов структуры, которые возникают при пластической деформации стали, что уменьшает ее электрическое сопротивление путем образования разрыхления металла дислокациями и дефектами в структуре. Такое место, где будет наличие примесей и дефектов структуры в металлических образцах можно искусственно получить при изготовлении металлических труб. При поперечно-винтовом прокатывании во время обжатия стали периодически переменными напряжениями на обжатие и растяжение, а особенно при тангенциальных напряжениях на сдвиг, что разрыхляют сталь, образуется пористость в материале и формируется волокнистая структура, что позволяет улучшить электропроводимость материала.**Ключевые слова:** сверхпроводимый материал, поперечно-винтовое прокатывание, критическая температура, отсутствие электросопротивления, дефекты кристаллической структуры.**Chubenko V.A., Khinotska A.A.** Technology of manufacturing of superconducting material by treatment of metals by pressure**Purpose.** To develop the technological process of manufacturing the superconducting material for the treatment of metals and rolling alloys, which will allow to increase the temperature range, where the conductivity resistance of the conductor falls to zero, which opens the opportunity to make the production of the superconducting product more massive, simple and cheaper.**Research methods** based on the use of theoretical analysis and experimental verification of accepted hypotheses and the results obtained. The basis of theoretical studies are the main provisions of metallurgy, continuum mechanics, and the theory of fluidity. In experimental studies, standard methods and technologies for determining the dependence of the material's electrical resistance on the modes of pressure treatment were used.

The scientific novelty is to find ways of creating a superconducting material capable of operating under environments without additional coolers, concentrating the oxide zone in the center of a cylindrical product by processing continuous cast-iron billet with cross-screw rolling.

Practical value. A technological process using roller rolling and metal pressure treatment in rolling rolls of cross-screw rolling, which allows you to get a product with the characteristics of a superconducting material that can work at ambient temperature without additional coolers.

Results. It was found that the electrical resistance of the conductor can fall to zero when it is cooled to a temperature below the critical one, as well as in the formation of impurities and other defects of the structure that arise during plastic deformation of the steel, which reduces its electrical resistance by forming the metal dissolution by dislocations and defects in structure. Such a place where the presence of impurities and defects of the structure in metallic samples can be artificially created in the production of metal pipes. In the case of transverse spiral deformation during the bending of steel with periodically alternating stresses on compression and stretching, and especially at tangential stresses on the shear, which loosens the steel, the porosity of the material is formed and the fibrous structure is formed, which allows to improve the electrical conductivity of the material.

Keywords: superconducting material, cross-screw rolling, critical temperature, absence of electrical resistance, defects of the crystalline structure.

УДК 694

Сахно С.І., Янова Л.О., Пищикова О.В. Суттєві помилки в ДБН В.2.6-161:2017 «Дерев'яні конструкції. Основні положення» та їх можливі наслідки

Мета. Знаходження суттєвих помилок в державних будівельних нормах, що можуть призвести до небажаних наслідків при розрахунках і експлуатації конструкцій з деревини виникненню аварійних ситуацій і можливих матеріальних і людських втрат.

Методи досліджень. Дослідження велись шляхом порівняння суб'єкту дослідження ДБН В.2.6-161:2017 «Дерев'яні конструкції основні положення» з першоджерелом EN 1995-1-1 :2004+A 1 «Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General -Common rules and rules for buildings. English version».

Результати. Виявлено чисельні помилки, що значно ускладнюють, а в деяких випадках і унеможливають розрахунків конструкцій з деревини. Ситуація з використанням державного нормативу з існуючими на даний момент помилками, здатна призвести до суттєвих порушень в стійкості і безпечній експлуатації дерев'яних конструкцій і як наслідок, до виникнення аварій, пожеж, втрат.

Наукова новизна. В результаті досліджень розглянуто можливий вплив помилок ДБН В.2.6-161:2017 на надійність конструкцій, розрахованих згідно означених будівельних норм. Виявлено, що в вітчизняних нормативних документах що стосуються міцності листових матеріалів з деревини відсутні терміни, що відповідають вживаним в європейських нормативних документах термінам planar (rolling) shear та panel shear.

Практична значимість. Дослідження дозволяють привести будівельні норми ДБН В.2.6-161 у відповідність з Єврокодами, що допоможе зменшити відставання у проектуванні за Єврокодами в Україні, дозволить залучити більше міжнародних інвестицій, та зменшити складності з виходом вітчизняних виробників на ринок ЄС, запобігти руйнуванню дерев'яних будівель, споруд, конструкцій, виникненню аварійних ситуацій і людським втратам. Запобігання негативним наслідкам можливо за умов перегляду, переробки нещодавно прийнятих державних будівельних норм ДБН В.2.6-161:2017. Основним напрямком забезпечення безпеки на виробництві - є розробка на рівні державного регулювання ретельно перевіреної та безпомилкової нормативної бази.

Ключові слова: державні будівельні норми, деревина, матеріали з деревини, проектування, помилки, наслідки, руйнування споруд, травматизм, людські і матеріальні втрати.

Сахно С.И., Янова Л.А., Пищикова Е.В. Существенные ошибки в ДБН В.2.6-161:2017 «Дерев'яні конструкції основні положення» и их возможные последствия

Цель. Нахождение существенных ошибок в государственных, строительных нормах, которые могут привести к нежелательным последствиям при расчетах, нарушении эксплуатации конструкций из древесины, возникновению аварийных ситуаций и возможных материальных и людских потерь.

Методы исследований. Исследования велись путем сравнения субъекта исследования ДБН В.2.6-161:2017 «Дерев'яні конструкції основні положення» с первоисточником EN 1995-1-1 :2004+A 1 «Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General -Common rules and rules for buildings. English version».

Результаты. Выявлены многочисленные ошибки, которые значительно усложняют, а в некоторых случаях и делают невозможным расчет конструкций из древесины. Ситуация по использованию государственного норматива с существующими на данный момент ошибками, может привести к существенным нарушениям по устойчивости и безопасной эксплуатации деревянных конструкций и, как следствие, к возникновению аварий, пожарам, потерям.

Научная новизна. В результате исследований рассмотрено возможное влияние ошибок ДБН В.2.6-161: 2017 на надежность конструкций, рассчитанных согласно указанных строительных норм. Виявлено, что в отечественных нормативных документах касающихся прочности листов из древесины отсутствуют термины, соответствующие применяемым в европейских нормативных документах терминам planar (rolling) shear и panel shear.

Практическое значение. Исследования позволяют привести строительные нормы ДБН В.2.6-161 в соответствие с Еврокодами, что поможет уменьшить отставание в проектировании по Еврокодам в Украине, позволит привлечь больше международных инвестиций, и уменьшит сложности с выходом отечественных производителей на рынок ЕС, предотвратит: разрушение деревянных домов, сооружений, конструкций; возникновение аварийных ситуаций и людских потерь. Предупреждение негативных последствий возможно при условии пересмотра, переработки недавно принятых государственных строительных норм ДБН В.2.6-161:2017. Основным направлением обеспечения безопасности на производстве – есть разработка на уровне государственного регулирования тщательно проверенной и безошибочной нормативной базы.

Ключевые слова: государственные строительные нормы, древесина, древесные материалы, проектирование, ошибки, последствия, разрушение сооружений, травматизм, людские и материальные потери.

Sakhno S.I., Yanova L.O., Pischikova O. V. Significant mistakes in State Building Regulations 2.6-161:2017 «Wooden constructions. Substantive provisions» and their possible consequences

Purpose. Finding significant errors in state building standards, which can lead to undesirable consequences in the calculation and operation of timber structures, the occurrence of emergency situations and possible material and human losses.

Research methods. The studies were conducted by comparing the subject of the study State Building Regulations B.2.6-161:2017 (SBR B.2.6-161:2017) «Wooden constructions. Substantive provisions» with the original source EN 1995-1-1:2004+A 1 «Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General -Common rules and rules for buildings».

Scientific novelty. Because of the research, we have considered the possible affect of State Building Regulations B.2.6-161:2017 errors on the reliability of structures calculated according to the specified building codes. It was revealed that in domestic regulatory documents relating to the strength of wood sheets there are no terms corresponding to the terms planar (rolling) shear and panel shear used in European regulatory documents.

Practical value. The study allows the construction norms of State Building Regulations B.2.6-161 to be brought into line with the Eurocodes, which may help to reduce the backlog in the design of the Eurocodes in Ukraine. It may allow the attracting of more international investment, and reducing difficulties with the entry of domestic producers to the EU market, it will prevent: the destruction of wooden houses, structures, constructions; the occurrence of accidents and casualties. The prevention of negative consequences is possible under the condition of revision, processing of the recently adopted state building codes State Building Regulations B.2.6-161:2017.

The main focus of safety at work is the development at the level of government regulation of a thoroughly tested and error-free regulatory framework.

Results. Numerous errors have been identified, and these results complicate considerably and in some cases even make it impossible to calculate wood constructions. The situation with the use of state regulations, which contain mistakes, may lead to significant violations in the stability and safe operation of wooden structures and, as a result, accidents, fires and losses.

Keywords: state building codes, timber, timber materials, design, errors, consequences, destruction of structures, injuries, human and material losses.

УДК 621.31.3

Сінчук І.О. Формалізація показників балансу споживання електричної енергії підземними залізородними підприємствами

Мета. Метою даної роботи є розробка формалізованих процедур визначення показників балансу споживання електричної енергії для підземних залізородних підприємств.

Методи дослідження. В дослідженнях, для розробки формалізованих процедур визначення показників балансу споживання електричної енергії, використовувалися статистичні методи і відповідний інструментарій, а саме: кореляційно-регресійний аналіз, факторні методи, відповідність критеріям розподілу.

Наукова новизна полягає в імплементації методів економіко-статистичного аналізу до практики формалізації показників рівня споживання електричної енергії. Запропоновані методи дозволяють сформувати систему показників щодо визначення рівнів електроспоживання залізородними підприємствами. Визначені множинні регресійні рівняння відповідають запитам добувної промисловості задля побудови ефективних систем керування.

Практична значимість. Отримані результати доцільно використовувати в практичній діяльності залізородних підприємств Криворізького регіону при вирішенні задач керування споживання електроенергією. Відсутність універсальності відбиває доцільність побудови регресійних моделей для кожного залізородного підприємства. Практика дослідження множинного кореляційно-регресійного аналізу довела його дієвість. В процесі проведеного дослідження доведена доцільність проведення статистичний аналізу відповідних показників з метою оцінювання складових електробалансу з метою підвищення енергоефективності гірничорудних підприємств в рамках існуючих технологій.

Результати. Встановлено перелік споживачів, котрі формують форму добових графіків електричних навантажень залізородного підприємства – так звані стаціонарні установки, що споживають більш ніж 80 % від загального обсягу споживання електричної енергії. Застосування кореляційно-регресійного аналізу дозволило визначити суттєві впливові взаємозв'язки в електроенергетичній системі залізородного підприємства. Запропоновано рекомендації відповідно до кожного підприємства індивідуально, щодо формування ефективних управлінських дій по електроспоживанню. Результати оцінювання впливових вагових формування електроенерговитрат на видобуток залізородної сировини дають змогу диференціювати підходи до конструювання алгоритму керування рівнями електроспоживання, згідно техніко-технологічних умов, кожною окремо взятою копальнею. Проведений якісний та кількісний статистичний аналіз рівнів споживання електроенергії відповідає вимогам сучасних наукових досліджень.

Ключові слова: електроспоживання, підприємство, показники, статистичний аналіз, електробаланс, споживачі-регулятори, оптимальне керування.

Синчук И.О. Формализация показателей баланса потребления электрической энергии подземными железорудными предприятиями

Цель. Целью данной работы является разработка формализованных процедур определения показателей баланса потребления электрической энергии для подземных железорудных предприятий.

Методы исследования. В исследованиях, для разработки формализованных процедур определения показателей баланса потребления электрической энергии, использовались статистические методы и соответствующий инструментарий, а именно: корреляционно-регрессионный анализ, факторные методы, соответствие критериям распределения.

Научная новизна заключается в осуществлении методов экономико-статистического анализа к практике формализации показателей уровня потребления электрической энергии. Предложенные методы позволяют сформировать систему показателей по определению уровней электропотребления железорудными предприятиями. Определены

множественные регрессионные уравнения соответствуют запросам добывающей промышленности для построения эффективных систем управления.

Практическое значение. Полученные результаты целесообразно использовать в практической деятельности железорудных предприятий Криворожского региона при решении задач управления потреблением электроэнергии. Отсутствие универсальности отражает целесообразность построения регрессионных моделей для каждого железорудного предприятия. Практика исследования множественного корреляционно-регрессионного анализа довела его действительность. В процессе проведенного исследования доказана целесообразность проведения статистического анализа соответствующих показателей для оценки составляющих электробаланса с целью повышения энергоэффективности горнорудных предприятий в рамках существующих технологий.

Результаты. Установлен перечень потребителей, которые формируют форму суточных графиков электрических нагрузок железорудного предприятия – так называемые стационарные установки, потребляющие более 80% от общего объема потребления электрической энергии. Применение корреляционно-регрессионного анализа позволило определить существенные влияющие взаимосвязи в электроэнергетической системе железорудного предприятия. Предложены рекомендации в соответствии с каждым предприятием индивидуально, по формированию эффективных управленческих действий по электропотреблению. Результаты оценивания влияющих весовых формирования электроэнергозатрат на добычу железорудного сырья позволяют дифференцировать подходы к конструированию алгоритма управления уровнями электропотребления, согласно технико-технологических условий, каждым отдельно взятым рудником. Проведенный качественный и количественный статистический анализ уровней потребления электроэнергии соответствует требованиям современных научных исследований.

Ключевые слова: электропотребление, предприятие, показатели, статистический анализ, электробаланс, потребитель-регуляторы, оптимальное управление.

Sinchuk I.O., Formalization indexes of balance consumption of electric energy by underground iron-ore enterprises

Purpose. To develop formalized procedures for determining the indicators of balance of electric energy consumption for underground iron-ore enterprises.

Research methods. In studies, for the development of formalized procedures for determining the indicators of balance of electric energy consumption, statistical methods and appropriate tools were used, namely: correlation-regression analysis, factor methods, and compliance with distribution criteria.

Scientific novelty consists to implement methods of economic-statistical analysis in the practice of formalizing the indicators of the level of electricity consumption. The proposed methods allow us to form a system of indicators for determining the levels of electricity consumption by iron ore enterprises. The determined set of regression equations corresponds to the demands of the extractive industry for the purpose of constructing efficient control systems.

Practical value. The obtained results should be used in the practical activity of the iron ore enterprises of the Kryvyi Rih region when solving the problems of controlling electricity consumption. The lack of universality reflects the feasibility of constructing regression models for each iron ore company. The practice of studying multiple correlation-regression analysis proved its effectiveness. In the course of the conducted research, the expediency of carrying out statistical analysis of the relevant indicators to assess the components of the electric balance in order to increase the energy efficiency of mining enterprises in the framework of existing technologies proved.

Results. A list of consumers, who form the form of daily charts of electrical loads of an iron ore company, is established – so-called stationary installations, which consume more than 80% of the total volume of electric energy consumption. Application of correlation-regression analysis allowed to determine the significant influential interconnections in the electric power system of the iron ore enterprise. Recommendations are offered according to each enterprise individually, in relation to the formation of effective management actions on electric consumption. The results of the estimation of the influential weight formation of energy consumption for the extraction of iron ore raw materials make it possible to differentiate the approaches to designing the control algorithm for the levels of power consumption, according to the technical and technological conditions, with each separately taken mines. The conducted qualitative and quantitative statistical analysis of the levels of electricity consumption meets the requirements of modern scientific research.

Keywords: electricity consumption, enterprise, indicators, statistical analysis, electric balance, consumer-regulators, optimal control.

УДК 681.5.08

Кіановський М. В., Іванова О. Р. Розробка та конструктивна реалізація функції силовимірювання в конструкціях технологічного оснащення

Мета. Метою даної роботи є підвищення надійності закріплення заготовок при їх механічній обробці за рахунок ретельного аналізу існуючих конструкцій технологічного оснащення з можливістю інструментального контролю параметрів закріплення заготовок.

Методи дослідження. Результати роботи отримані шляхом теоретичних досліджень. Теоретичні дослідження полягають у синтезі методів силовимірювання в конструкціях технологічного оснащення, основних факторів, які впливають на сили затиску в затискних механізмах.

Наукова новизна. Було визначено, що на сьогоднішній день не існує конструкції технологічного оснащення, яка в повній мірі реалізувала контроль силовимірювання. Тому дане питання потребує нових теоретичних і експериментальних досліджень при створенні принципово нових конструкцій затискних механізмів, які зможуть реалізувати контроль параметри закріплення заготовок і не допускати негативних явищ закріплення.

Практичне значення. Виконаний аналіз конструкцій технологічного оснащення дає можливість визначення напрямків модернізації та вдосконалення засобів виробництва на базі застосування новітніх досягнень розробок.

Результати. В результаті проведеного аналізу було визначено, що задачі інструментального контролю параметрів закріплення заготовок при їх механічній обробці запобігають негативним явищам закріплення. При недостатньому закріпленні заготовки можливі її зрив під дією сил різання, і як наслідок пошкодження заготовки, інструмента та

верстатного пристосування. Надмірне закріплення заготовки приводить до пошкодження її поверхонь. При відсутності контролю параметрів закріплення формоутворення заготовок супроводжується дефектами конструктивних елементів, що утворюють неявно виражені технологічні бази, що викликають високу трудомісткість і помилки допоміжних операцій технологічного базування заготовок в засобах технологічного оснащення, і як наслідок, брак виготовлення деталей. Слід зазначити, що при затиску не повинно порушуватися положення заготовки, досягнуте базуванням. Це задовольняється раціональним вибором напрямку і точки прикладання сили затиску. Визначено недоліки існуючих конструкцій технологічного оснащення та неможливість визначення та контролю затискних сил. Аналіз закономірностей, що впливають на точність і продуктивність виконуваних операцій, дозволять проектувати пристосування, що інтенсифікують виробництво і підвищують його точність.

Ключові слова: аналіз, силовимірювання, технологічне оснащення, затискний пристрій, сила затиску заготовки, контроль.

Кияновский Н. В., Иванова О.Р. Разработка и конструктивная реализации метода силоизмерения в конструкциях технологического оборудования

Цель. Целью данной работы является повышение надежности закрепления заготовок при их механической обработке за счет тщательного анализа существующих конструкций технологической оснастки с возможностью инструментального контроля параметров закрепления заготовок.

Методы исследования. Результаты работы получены путем теоретических исследований. Теоретические исследования заключаются в синтезе методов силоизмерения в конструкциях технологической оснастки, основных факторов, влияющих на силы зажима в зажимных механизмах.

Научная новизна. Было определено, что на сегодняшний день не существует конструкции технологической оснастки, которая в полной мере реализовала контроль силоизмерений. Поэтому данный вопрос требует новых теоретических и экспериментальных исследований при создании принципиально новых конструкций зажимных механизмов, которые смогут реализовать контроль параметров закрепления заготовок и не допускать негативных явлений закрепления.

Практическое значение. Выполненный анализ конструкций технологической оснастки дает возможность определения направлений модернизации и совершенствования средств производства на базе применения новейших достижений разработок.

Результаты. В результате проведенного анализа было определено, что задачи инструментального контроля параметров закрепления заготовок при их механической обработке предотвращают негативные явления закрепления. При недостаточном закреплении заготовки возможен ее срыв под действием сил резания, и как следствие повреждение заготовки, инструмента и станочного приспособления. Чрезмерное закрепление заготовки приводит к повреждению ее поверхностей. При отсутствии контроля параметров закрепления формообразования заготовок сопровождается дефектами конструктивных элементов, образующих неявно выражены технологические базы, вызывают высокую трудоемкость и ошибки вспомогательных операций технологического базирования заготовок в средствах технологического оснащения, и как следствие, недостаток изготовления деталей. Следует отметить, что при зажиме не должно нарушаться положения заготовки, достигнутое базированием. Это удовлетворяется рациональным выбором направления и точки приложения силы зажима. Определены недостатки существующих конструкций технологической оснастки и невозможность определения и контроля зажимных сил. Анализ закономерностей, влияющих на точность и производительность выполняемых операций, позволят проектировать приспособления, интенсифицируют производство и повышают его точность.

Ключевые слова: анализ, силоизмерение, технологическая оснастка, зажимное устройство, сила зажима заготовки, контроль.

Kiyanovskyi N.V., Ivanova O.R. Development and constructive implementation of the method of force measurement in the technological equipment constructions

Purpose. To increase the reliability of fixing blanks during their machining by carefully analyzing the existing designs of tooling with the possibility of instrumental control of the parameters of fixing blanks.

Research methods. Theoretical studies consist in the synthesis of methods of force measurement construction of tooling, the main factors affecting the clamping force in the clamping mechanisms.

Scientific novelty. It was determined that to date there is no design of tooling to fully control the force measurements. Therefore, this issue requires new theoretical and experimental studies in the creation of fundamentally new designs of clamping mechanisms that will be able to control the fixing parameters of blanks and prevent negative fixing phenomena.

Practical value. The analysis of the structures of the tooling determine the directions of modernization and improvement of the means of production based on the latest developments.

Results. It was determined that the tasks of instrumental control of the parameters of fixing blanks during their machining prevent negative phenomena of fixing. In case of insufficient fixing of the workpiece, it can be broken down by the cutting forces, and damage the workpiece, tool and machine tool. Excessive fixing of the workpiece leads to damage to its surfaces. In the absence of control parameters fastening shaping workpieces defect accompanied structural elements forming implicitly expressed technological base, causing high labor intensity and error process based subsidiary operations in workpieces of technological equipment, hence, lack of manufacturing details. It should be noted that when clamping, the position of the workpiece should not be disturbed, achieved basing. This is satisfied by the rational choice of direction and point of application of the clamping force. The shortcomings of the existing designs of tooling and the impossibility of determining and controlling clamping forces are identified. Analysis of the laws that affect the accuracy and performance of operations performed, will allow to design devices that intensify production and increase its accuracy.

Keywords: analysis, force measurement, tooling, clamping device, clamping force of the workpiece, control.

УДК 622.274.3:622.224

Письменный С.В. Визначення стійкого прогону оголення при розробці складноструктурних рудних покладів камер-

ною системою розробки

Мета. Метою виконаних досліджень є обґрунтування стійких параметрів конструктивних елементів камерної системи при розробці складноструктурних рудних покладів, яка дозволить підвищити показники вилучення рудної маси за рахунок селективного виймання.

Методи досліджень. Існуюча методика, яка застосовується на шахтах Кривбасу для визначення конструктивних елементів камерної системи розробки, при розрахунку прольоту оголення не враховує потужність налягаючої товщі порід зі сторони висячого боку очисної камери. Тому, необхідно розробити методику з визначення конструктивних елементів камерних систем розробки при відпрацюванні складноструктурних рудних покладів, для забезпечення стійкості оголень очисним камерам.

Наукова новизна. При відпрацюванні виймального блоку запропоновано очисні роботи здійснювати послідовно від висячого до лежачого боку складноструктурного рудного покладу камерної системою розробки, з залишенням в блоці безрудного або рудного включення. Даний порядок очисних робіт дозволить зменшити концентрацію розтягуючих та стискаючих напружень в середній частині безрудного або рудного включення, що сприяє підвищенню його стійкості в 1,5–2,0 рази.

Практична значимість. Впровадження ресурсозберігаючої технології необхідно здійснювати на першому етапі, який безпосередньо пов'язаний з видобутком руди та впливає на вміст заліза в видобутій рудній масі. Підвищити вміст заліза в видобутій рудній масі можливо за рахунок застосування селективної розробки виймальних блоків камерними системами розробки.

Результати. Встановлено, що на стійкість очисної камери, окрім її розмірів та фізико-механічних властивостей руди, впливають горизонтальна потужність включення, коефіцієнт тривкості, час його існування та порядок очисних робіт у виймальному блоці. Тому при коефіцієнті тривкості порід безрудного включення меншим за 10–12 доцільно застосовувати підповерхово-камерний варіант системи в іншому випадку поверхово-камерний варіант системи розробки.

Ключові слова: підземна розробка, залізна руда, напруження, стійкість, камерна система розробки

Письменный С.В. Определение устойчивого пролета обнажение при разработке сложноструктурных рудных залежей камерными системами разработки

Цель. Целью выполненных исследований является обоснование устойчивых параметров конструктивных элементов камерной системы при разработке сложноструктурных рудных залежей, которые позволят повысить показатели извлечения рудной массы за счет селективного извлечения.

Методы исследования. Существующая методика, которая применяется на шахтах Кривбасса для определения конструктивных элементов камерной системы разработки, при расчете пролета обнажения не учитывает мощность толщи пород со стороны висячего бока очистной камеры. Поэтому, необходимо разработать методику по определению конструктивных элементов камерных систем разработки при отработке сложноструктурных рудных залежей, для обеспечения устойчивости обнажений очистных камер.

Научная новизна. При отработке выемочного блока предложено очистные работы осуществлять последовательно от висячего к лежачему боку сложноструктурной рудной залежи камерной системой разработки с оставлением в блоке безрудного или рудного включения. Данный порядок очистных работ позволит уменьшить концентрацию растягивающих и сжимающих напряжений в средней части безрудного или рудного включения, что способствует повышению его устойчивости в 1,5–2,0 раза.

Практическая значимость. Повысить содержание железа в добытой рудной массе возможно за счет применения селективного разработки выемочных блоков камерными системами разработки. Внедрение ресурсосберегающей технологии на первом этапе, позволит повысить содержание железа в добытой рудной массе за счет обеспечения устойчивости очистным камерам.

Результаты. Установлено, что на устойчивость очистной камеры, кроме ее размеров и физико-механических свойств руды, влияют горизонтальная мощность включения, коэффициент прочности, время его существования и порядок очистных работ в выемочных блоке. Поэтому, при коэффициенте крепости пород безрудного включения меньше 10–12 целесообразно применять поэтажного-камерный вариант системы в противном случае этажно-камерный вариант системы разработки.

Ключевые слова: подземная разработка, железная руда, напряжения, устойчивость, камерная система разработки

Pysmennyi S.V. Determination of the sustainable span outcrop in the development of complex structural ore deposits by the chamber system

Purpose. To substantiate the stable parameters of the structural elements of the chamber system in the development of complex structural ore deposits, which will increase the extraction rates of the ore mass due to selective extraction.

Research methods. When calculating the exposure passage, the current technique used in the Kryvbas mines to determine the design elements of the chamber system development, does not take into account the thickness of the rocks of the chamber hanging side. Therefore, it is necessary to provide a methodology for determining the design elements of chamber systems for the development of complex structured ore deposits.

Scientific novelty. When working out the extracted block, it is proposed to perform sewage treatment successively from the hanging to the lying side of the complex structural ore deposit by the chamber system, with the abandonment in the block of impure or ore inclusion. This order of treatments reduces the concentration of tensile and compressive stresses in the middle part of the impure or ore inclusion, which contributes to increase its stability in 1,5–2,0 times.

Practical value. Increase the iron content in the extracted ore mass may be due to the use of selective development of extraction blocks by the chamber system development. The introduction of the first resource-saving technology will increase the iron content in the extracted ore mass by providing stability to the treatment chambers.

Results. It was established that the stability of the chamber, in addition to its size and physical-mechanical properties of ore, is influenced by the horizontal power of inclusion, the coefficient of durability, the time of its existence and the order of the treatment works in the extracted block. Therefore, at a durability of rocks of impure inclusion less than 10–12 it is expedient

to apply a sub-storey-chamber system, otherwise, a storey -chamber system.

Keywords: underground development, iron ore, stress, stability, chamber system development

УДК 69.059

Валовой О.І., Грицаєнко О.М., Попруга Д.В. Технічне обстеження конструкцій залізобетонного балочно-розрізного пішохідного мосту

Мета роботи – оцінка технічного стану конструкцій споруди пішохідного мосту, який розташовано на території цеху РХО ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь»» у місті Маріуполь Донецької області, і розробка рекомендацій для виконання проекту на ремонтно-відновлювальні роботи з подовження терміну безпечної експлуатації споруди.

Методи. Обстеження виконано візуально-інструментальним методом, на основі матеріалів та креслень проектною документації, наданих замовником [1], згідно вимог нормативних документів [3-8], з розробкою та оформленням креслень на ремонтно-відновлювальні роботи.

Практична значимість і результати. Виконане обстеження технічного стану балочно-розрізного пішохідного мосту та аналіз отриманих даних, надали змогу визначити існуючий стан, як окремих конструктивних елементів, так і всієї споруди в цілому, як складної технічної системи.

Основні несприятливі фактори, що впливають на несучу здатність, довговічність та експлуатаційну придатність несучих елементів: неналежне водовідведення з мостового полотна, зниження функціональності гідроізоляції та шарів покриття, руйнування зон деформаційних швів мають домінуючий вплив на стан споруди. Замокання несучих конструкцій призвело до появи деформацій та пошкоджень, що визначені в звіті обстеження споруди.

Взаємодія окремих елементів споруди та факторів, що впливають на її функціонування (кліматичні, експлуатаційні тощо), має складний механізм. Найменш довговічні елементи з часом суттєво знижують термін служби несучих конструкцій та всієї споруди, що повинно враховуватись на етапі проектування та під час експлуатації.

Технічне обстеження споруд надає можливість своєчасно виявляти дефекти і пошкодження, врахувати їх вплив та розробляти ремонтно-відновлювальні заходи для проведення подальших поточних і капітальних ремонтів.

Результати проведених досліджень є типовими для аналогічних споруд. Рекомендовано використовувати їх при обстеженні та прийнятті проектних технічних рішень на відновлення технічного стану балочно-розрізних пішохідних мостів.

Ключові слова: пішохідний міст, технічне обстеження, дефекти, пошкодження, підсилення, технічний стан, торкретування, вуглецеве полотно.

Валовой А.И., Грицаенко А.Н., Попруга Д.В. Техническое обследование конструкций железобетонного балочно-разрезного пешеходного моста

Цель работы – оценка технического состояния конструкций сооружения пешеходного моста, который расположен на территории цеха РХО ПАТ «Металлургический комбинат «Азовсталь»» в городе Мариуполь Донецкой области, и разработка рекомендаций для выполнения проекта на ремонтно-восстановительные работы по продлению срока безопасной эксплуатации сооружения.

Методы. Обследование выполнено визуально-инструментальным методом, на основании материалов и чертежей проектной документации, предоставленных заказчиком [1], согласно требований нормативных документов [3-8], с разработкой и оформлением чертежей на ремонтно-восстановительные работы.

Практическая значимость и результаты. Выполненное обследование технического состояния балочно-разрезного пешеходного моста и анализ полученных данных, дали возможность определить фактическое состояние, как отдельных конструктивных элементов, так и всего сооружения в целом, как сложной технической системы.

Основные неблагоприятные факторы, которые влияют на несущую способность, долговечность и эксплуатационную пригодность несущих элементов: ненадлежащее водоотведение с мостового полотна, снижение функциональности гидроизоляции и слоёв покрытия, разрушение зон деформационных швов имеют доминирующее влияние на состояние сооружения. Намокание несущих конструкций привело к появлению деформаций и повреждений, которые указаны в отчёте обследования сооружения.

Взаимодействие отдельных элементов сооружения и факторов, которые влияют на его функционирование (климатические, эксплуатационные и т.д.), имеет сложный механизм. Наименее долговечные элементы со временем существенно уменьшают длительность службы несущих конструкций и всего сооружения, что должно учитываться на этапе проектирования и во время эксплуатации.

Техническое обследование сооружения даёт возможность своевременно выявлять дефекты и повреждения, учитывать их влияние и разрабатывать ремонтно-восстановительные мероприятия для проведения последующих поточных и капитальных ремонтов.

Результаты проведённых исследований типичны для аналогичных сооружений. Рекомендовано использовать их при обследовании и принятии проектных технических решений на восстановление технического состояния балочно-разрезных пешеходных мостов.

Ключевые слова: пешеходный мост, техническое обследование, дефекты, повреждения, усиление, техническое состояние, торкретирование, углеродное полотно.

Valovoi O.I., Grytsaienko O.M., Popruga D.V. Technical examination of constructions of reinforced concrete beams foot bridge

Purpose. The technical examination of the structures of the foot bridge construction of the PJSC “Azovstal Iron and Steel Works” Mariupol, Donetsk region. The development of recommendations for the implementation of the project for repair and restoration works on current safe operation of the facility.

Methods. The survey was performed by visual and instrumental method, based on the materials and drawings of the design documentation provided by the customer, in accordance with the requirements of the regulatory documents. The drawings for repair and restoration works are designed.

Practical value and results. The survey of the technical condition of the beam foot bridge and the analysis of the data obtained determine the existing state of both the separate structural elements and the whole structure, as a complex technical system. The main adversities affecting the bearing power, durability and serviceability of the supporting elements such as improper drainage from the bridge, reducing the function of waterproofing and coating layers, the destruction of zones of deformation seams have a dominant influence on the condition of the structure. Damping of bearing structures has led to deformation and damage. They are indicated in the inspection report of the structure.

The interaction of individual elements of the structure and factors that affect its functioning (climatic, operational) has a complex mechanism. The least durable elements with age significantly reduce the service life of the supporting structures and the entire structure. It should be taken into account during the design stage and during the operation of the structure.

The technical examination of structures provides the opportunity to detect defects and damage at the appropriate times, take into account their impact and develop repair and restoration measures for further ongoing and major repairs.

The results of the research are typical for similar structures. It is recommended to use them when examining and adopting design technical solutions for the restoration of the technical condition of beam-cutting foot bridges.

Keywords: foot bridge, technical examination, defects, damage, amplification, technical condition, shotcreting, carbon sheet.

УДК 621.3.072.9

Козакевич І. А., Кондратенко А. А. Система енергоефективного керування динамічним компенсатором викривлень напруги

Метою роботи є аналіз існуючих структур силовій частини та способів керування динамічним компенсатором викривлень напруги. Виконується порівняння енергоефективності існуючих способів компенсації просадки, перевищення та несиметрії напруги. Доведено, що, оскільки якість електричної енергії є важливим фактором функціонування будь-яких систем електропостачання через її безпосередній вплив на показники енергоефективності, надійності та продуктивності обладнання. Тому виявлення закономірностей функціонування динамічних компенсаторів викривлення напруги для навантажень, що є чутливими до якості електричної енергії, а також розробка енергоефективних способів керування такими системами, що дозволить підвищити їх можливості відносно тривалості компенсації відхилень напруги, є актуальною задачею.

Методи наукового дослідження. Для її вирішення були використані загальні методи теорії автоматичного керування, методи теорії оптимального керування та методи дослідження нелінійних систем автоматичного керування, варіаційне й матричне обчислення.

Наукова новизна роботи полягає в розробці принципів комбінованого керування, яке поєднує в собі компенсацію зміни фази напруги в мережі з подальшим безшовним переходом до синфазної компенсації. Шляхом математичного моделювання роботи динамічного компенсатора напруги було отримано матеріал для порівняльного аналізу енергозатрат автономного джерела енергії при використанні синфазної та попередньої компенсації.

Основними науковими та практичними результатами є аналіз існуючих структур динамічних компенсаторів викривлень напруги. У результаті роботи розрахунки підтверджують, що при використанні синфазної компенсації значно зменшується обсяг електричної енергії, яка споживається від автономного джерела живлення, у порівнянні з попередньою компенсацією, що враховує можливу зміну фазового кута напруги в мережі. Також розроблено структуру системи керування динамічним компенсатором викривлень напруги, яка передбачає комбіноване використання попередньої та синфазної компенсації, що дозволяє покращити показники енергоефективності таких систем.

Ключові слова: якість електричної енергії, динамічний компенсатор викривлень напруги, фазове автопідлаштування частоти, просадка напруги, перевищення напруги, несиметрія напруги, швидкодія системи.

Козакевич І. А., Кондратенко А. А. Система энергоэффективного управления динамическим компенсатором искажений напряжения

Целью работы является анализ существующих структур силовой части и способов управления динамическим компенсатором искажений напряжения. Осуществляется сравнение энергоэффективности существующих способов компенсации просадки, превышения и несимметрии напряжения. Доказано, что, поскольку качество электрической энергии является важным фактором функционирования каких-либо систем электроснабжения из-за её непосредственного влияния на показатели энергоэффективности, надёжности и продуктивности оборудования. Поэтому определение закономерностей функционирования динамических компенсаторов искажений напряжения для нагрузок, чувствительных к качеству электрической энергии, а также разработка энергоэффективных способом управления такими системами, которые позволят улучшить их возможности в отношении продолжительности компенсации отклонений напряжения, является актуальной задачей.

Методы научного исследования. Для её решения использовались общие методы теории автоматического управления, методы теории оптимального управления и методы исследования нелинейных систем автоматического управления, вариационное и матричное исчисление.

Научная новизна работы состоит в разработке принципов комбинированного управления, которое объединяет в себе компенсацию смены фазы напряжения в сети с последующим бесшовным переходом к синфазной компенсации. Путём математического моделирования работы динамического компенсатора напряжения был получен материал для сравнительного анализа энергозатрат автономного источника энергии при использовании синфазной и предварительной компенсации.

Основными научными и практическими результатами является анализ существующих структур динамических компенсаторов искривлений напряжения. В результате работы расчёты подтверждают, что при использовании синфазной компенсации значительно уменьшается количество потребляемой от автономного источника питания электрической энергии по сравнению с предварительной компенсацией, которая учитывает возможное изменение фазового угла напряжения в сети. Также разработана структура системы управления динамическим компенсатором искажений напряжения, которая подразумевает комбинированное использование предварительной и синфазной компенсации, что позволяет улучшить показатель энергоэффективности таких систем.

Ключевые слова: качество электрической энергии, динамический компенсатор искажений напряжения, фазовая автоподстройка частоты, просадка напряжения, превышение напряжения, несимметрия напряжения, быстродействие системы.

Kozakevich I.A., Kondratenko A.A. System of energy efficient control of dynamic voltage restorer

Purpose. To analyze the existing structures of the power contour and the methods of controlling the dynamic voltage restorer. Comparison of energy efficiency of existing methods of compensation of slump, overvoltage and voltage unbalance are carried out. It is proved that, since the quality of electrical energy is an important factor in the functioning of any electrical power generating system through its direct impact on energy efficiency, reliability and productivity of equipment. Therefore, the detection of the regularity of the functioning of the dynamic voltage restorer, which are sensitive to the quality of electric energy, as well as the development of energy-efficient methods of control by such systems, which will increase their capabilities in relation to the duration of compensation of voltage fluctuation, is an urgent task.

Research methods. For its solution, general methods of the theory of automatic control, methods of the theory of optimal control and methods of research of nonlinear systems of automatic control, variational and matrix computation were used.

Scientific novelty of the work consists in the development of the principles of combined control, which combines the compensation of the change in the phase of voltage in the circuit with the subsequent seamless transition to in-phase compensation. Through mathematical modeling of the dynamic voltage restorer, the data was obtained for comparative analysis of energy consumption of an autonomous energy source using in-phase and pre-compensation.

Results. The existing structures of dynamic voltage restorer are analyzed. As a result of the work calculations confirm that using in-phase compensation significantly reduces the amount of electrical energy consumed from an autonomous power source, compared with the pre-compensation, which takes into account the possible change in the phase angle of the voltage in the network. The structure of the dynamic voltage restorer's control system is also developed, which involves the combined use of the pre- and in-phase compensation, which allows to improve the energy efficiency of such systems.

Keywords: electric power quality, dynamic voltage restorer, phase autotuning of the frequency, voltage slump, overvoltage, voltage unbalance, system speedwork.

УДК 622.647.2

Тиханський М.П., Єфіменко Л.І., Тиханська А.М. Прогнозування працездатності конвеєрної установки

Мета. Підвищення економічної ефективності експлуатації стрічкового конвеєра за рахунок застосування надійних і високоєфективних засобів діагностування технічного стану і прогнозування ресурсу роботи обладнання установки.

Методи дослідження. Для вирішення цього завдання використано: наукове узагальнення раніше виконаних досліджень; методи вимірювання і оцінка динамічних навантажень; методи діагностики ушкоджень; експериментальні дослідження впливу навантажень на технічний стан обладнання; методи розроблені в механіці; методи обробки випадкових процесів і математичної статистики.

Наукова новизна. Нові можливості в роботі і застосуванні системи діагностики та прогнозування з'являються при експлуатації стрічкового конвеєра, забезпеченого регульованим приводом і автоматичною системою управління режимами транспортування.

У зв'язку з цим, автори досліджують стрічковий конвеєр як об'єкт діагностування з урахуванням наявності системи автоматичного керування режимами роботи установки, розробити прогресивні і технічно реалізуємі способи і пристрої, на базі яких сформульовано принципи автоматизованої системи діагностики та прогнозування.

Практична значимість. Нові можливості в роботі і застосуванні системи діагностики та прогнозування з'являються при експлуатації стрічкового конвеєра, забезпеченого регульованим приводом і автоматичною системою управління режимами транспортування. Економічна ефективність застосування автоматизованої системи діагностики і прогнозування ресурсу досягається за рахунок таких факторів як збільшення середнього часу між ремонтами, зростання продуктивності об'єкта обслуговування та зниження витрат на технічне обслуговування, фактичне усунення несподіваних поломок, підвищення надійності і продуктивності, усунення вторинних поломок, зменшення тривалості ремонтів. Це призводить до підвищення коефіцієнта готовності на $0,015 \div 0,02$ і коефіцієнта використання на $0,02 \div 0,03$.

Результати. У роботі показано, що діагностування технічного стану стрічкового конвеєра, забезпеченого регульованим приводом, прогнозування його залишкового ресурсу й створення автоматизованої системи діагностики та прогнозування працездатності конвеєрної установки припускає розробку узагальненої моделі технічного стану і діагностування, що враховує наявність регульованого приводу й можливості впливу на режими експлуатації установки.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, технічний стан, працездатність, діагностування, прогнозування, регульований привод, автоматична система керування.

Тиханский М.П., Ефименко Л.И., Тиханская А.М. Прогнозирование работоспособности конвейерной установки

Цель. Повышение экономической эффективности эксплуатации ленточного конвейера за счет применения надежных и высокоэффективных средств диагностирования технического состояния и прогнозирования ресурса работы оборудования установки.

Методы исследования. Для решения этой задачи использованы: научное обобщение ранее выполненных исследований; методы измерения и оценка динамических нагрузок; методы диагностики повреждений; экспериментальные исследования влияния нагрузок на техническое состояние оборудования; методы разработанные в механике; методы обработки случайных процессов и математической статистики.

Научная новизна. Новые возможности в работе и применении системы диагностики и прогнозирования появляются при эксплуатации ленточного конвейера, обеспеченного регулируемым приводом и автоматической системой управления режимами транспортировки.

В связи с этим, авторы исследуют ленточный конвейер как объект диагностирования с учетом наличия системы автоматического управления режимами работы установки, разработать прогрессивные и технически реализуемые

способы и устройства, на базе которых сформулированы принципы автоматизированной системы диагностики и прогнозирования.

Практическая значимость. Новые возможности в работе и применении системы диагностики и прогнозирования появляются при эксплуатации ленточного конвейера, обеспеченного регулируемым приводом и автоматической системой управления режимами транспортировки. Экономическая эффективность применения автоматизированной системы диагностики и прогнозирования ресурса достигается за счет таких факторов как увеличение среднего времени между ремонтами, рост производительности объекта обслуживания и снижения затрат на техническое обслуживание, фактическое устранение неожиданных поломок, повышение надежности и производительности, устранение вторичных поломок, уменьшение продолжительности ремонтов. Это приводит к повышению коэффициента готовности на $0,015 \div 0,02$ и коэффициента использования на $0,02 \div 0,03$.

Результаты. В работе показано, что диагностирование технического состояния ленточного конвейера, обеспеченного регулируемым приводом, прогнозирование его остаточного ресурса и создание автоматизированной системы диагностики и прогнозирования работоспособности конвейерной установки предполагает разработку обобщенной модели технического состояния и диагностики, учитывающий наличие регулируемого привода и возможности влияния на режимы эксплуатации установки.

Ключевые слова: ленточный конвейер, техническое состояние, работоспособность, диагностирования, прогнозирования, регулируемый привод, автоматическая система управления.

Tykhanskyi M.P., Yefimenko L.I., Tykhanska A.M. Predicting the performance of a conveyor system

Purpose. Improving the economic efficiency of belt conveyor operation through the use of reliable and highly effective means of diagnosing the technical condition and predicting the service life of the installation equipment.

Research methods. To solve this problem, the following has been used: scientific generalization of previously performed research; methods of measurement and evaluation of dynamic loads; damage diagnosis methods; experimental studies of the effects of loads on the technical condition of equipment; methods developed in mechanics; methods for processing random processes and mathematical statistics.

Scientific novelty. New features in the operation and application of the system of diagnostics and forecasting appear during the operation of a belt conveyor provided by an adjustable drive and an automatic system for controlling the modes of transportation.

In this regard, the authors explore the conveyor belt as an object of diagnosis, taking into account the availability of an automatic control system for plant operation, develop progressive and technically feasible methods and devices, on the basis of which the principles of an automated diagnostic and prediction system are formulated.

Practical value. New features in the operation and application of the system of diagnostics and forecasting appear during the operation of a belt conveyor provided by an adjustable drive and an automatic system for controlling the modes of transportation. The economic efficiency of using an automated system for diagnosing and predicting the resource is achieved by such factors as an increase in the average time between repairs, an increase in the performance of the maintenance facility and a reduction in maintenance costs, the actual elimination of unexpected failures, increased reliability and productivity, the elimination of secondary failures, and a reduction in the duration of repairs.

Results. The paper shows that diagnosing the technical condition of a belt conveyor provided with a variable drive, predicting its residual life and creating an automated system for diagnosing and predicting the efficiency of a conveyor plant involves developing a generalized model of the technical condition and diagnostics, taking into account the presence of an adjustable drive and the possibility of influencing the operating modes of the plant.

Keywords: belt conveyor, technical condition, operability, diagnostics, prediction, adjustable drive, automatic control system.



Смірнов Павло Петрович

(09.09.1882 –
02.04.1947)

Павло Петрович Смірнов народився 9 вересня 1882 р. в місті Симбірську (нині Ульяновську), в сім'ї лікаря Петра Авдійовича Смірнова.

Батько – Петро Авдійович Смірнов (1845-1901) – походив із старовинного купецького роду. Закінчив лікарський факультет Московського Імператорського університету в 1869 р. Працював у лікарнях Москви, потім служив у військових частинах. Брав участь у Російсько-турецькій війні 1877-78 рр. За героїчне спасіння поранених під час наступу турків начальник госпіталю доктор Смірнов Петро Авдійович був нагороджений Георгіївським хрестом.

Його сумлінна бездоганна праця на високих державних посадах була відзначена також орденами Святого Станіслава III та II ступенів (1874 і 1877 рр.) та Святої Анни II ступеня (1881 р.).

Мати Павла, Ганна Йосипівна

Смірнова, уроджена Рязанова, була дочкою професора Рязанської Семінарії і до заміжжя працювала народною вчителькою. Павло Петрович був третьою дитиною в родині Смірнових. Його старший брат Олександр був морським інженером, відмінним математиком, блискуче закінчив Московське Вище Технічне Училище, брав участь у російсько-японській війні і загинув на сході. Сестра Ольга обрала професію матері і викладала в Самарканді. Там же проживав молодший брат Володимир, доктор геологічних наук, професор Середньо-Азіатського державного університету.

Перші дитячі враження Павла були пов'язані з поїздками у старовинному тарантасі безкрайніми зеленими степами, з життям серед «киргизів», з подорожами весною в степ за тюльпанами, восени на баштани за кавунами і динями. Дитинство пройшло в невеликому провінційному містечку Симбірську. Мати Ганна Йосипівна, дбайливо опікувалася дітьми і щоб стежити за заняттями хлопчиків, сама стала вивчати латинську мову.

В 1893 р. Павло вступив до підготовчого класу Симбірської класичної гімназії, де провчився чотири роки з посередніми успіхами. В 1897 р. родина переїхала із Симбірська до Києва, батько Петро Авдійович Смірнов вийшов у відставку, часто хворів у зв'язку зі старої контузією. Павло був переведений в 4 клас в І-Київської гімназії, яку він закінчив у 1902 р. Після смерті батька діти залишилися з матір'ю і все ж отримали освіту.

В 1900 р. Павло вступив на історико-філологічний факультет Імператорського університету Святого Володимира. В університеті в цей час читали лекції такі вчені, як М.В.Довнар-Запольський, М.Ф.Владимирський-Буданов, А.І.Покровський, В.С.Іконников. Павел брав активну участь в університетському житті, давав приватні уроки, що дозволяло підтримувати сім'ю після смерті батька. Під головуванням професора М.В.Довнар-Запольського був відкритий студентський історико-етнографічний гурток, стати членами якого прагнули всі студенти, що займалися наукою.

В 1907 р. Павло Петрович після закінчення історичного відділення історико-філологічного факультету отримав пропозицію залишитися в університеті як стипендіат для підготовки до отримання професорського звання.

Впродовж 1908-1914 рр. Павло знаходився у відрядженнях у Москві і Петербурзі, вивчаючи історію російських міст. По темі дисертації було достатньо матеріалу, проте написання роботи затягувалося у зв'язку з умовами воєнного часу.

В 1910 р. Павло написав першу наукову роботу на тему «Орловский уезд в конце XVI столетия по Писцовой книге 1594-5 г.г.». Вона була нагороджена срібною медаллю і надрукована в типографії Імператорського університету Святого Володимира.

У 1915 р. Київський університет переведений в м.Саратов, де Павло Петрович працював асистентом, завідував Археологічним музеєм і кабінетом нумізматики університету.

В 1917 р. П.П.Смірнов повернувся до Києва, де за кошти історико-філологічного факультету була опублікована перша частина наукової праці «Города Московского государства. Нормы землевладения». Друга частина роботи – «Движение населения» – була закінчена в 1919 р. Обидві книги були представлені автором на історико-філологічному факультеті в Імператорському університеті Святого Володимира в якості магістерської дисертації. захист пройшов успішно, автор отримав вчений ступінь магістра російської історії. У своїх працях П.П.Смірнов вдало оживив матеріал архівних записів за допомогою яскравого зображення минулого російської історії.

У 1923 р. Павло був заарештований за звинуваченням у співпраці з польською розвідкою (справа «Центру дії»). У 1924 р. тимчасово звільнений, але потім знову заарештований і засуджений до 10 років позбавлення волі. Вирок у справі «Центру дії» викликав протести міжнародної громадськості, в тому числі прем'єр-міністра Франції Раймона Пуанкаре. Незабаром термін ув'язнення Смірнова був скорочений вдвічі, а в 1927 р. він був достроково звільнений (були зараховані дні, відпрацьовані понад норми).

В 1927-34 рр. Павло Петрович займав посаду професора на факультеті господарства і права Середньо-Азіатського університету в Ташкенті, читав лекції з російської історії на східному факультеті та історію економічного розвитку (господарського побуту) Заходу і Росії. Протягом п'яти років був директором фундаментальної бібліотеки університету.

В 1931 р. був знову заарештований за звинуваченням в контрреволюційній діяльності, але через вісім місяців звільнений за відсутністю доказів.

В січні 1936 р. в Середньо-Азіатському університеті було ухвалено рішення про представлення до звання доктора наук без захисту дисертації Павла Петровича Смірнова та ще шести наукових співробітників.

У 1937 р. П.П.Смірнов переїжджає до Москви і починає співпрацювати з Інститутом історії АН СРСР, прагнучи зосередитися на науковій роботі. З 1938 р. викладає в Історико-архівному інституті, з початку Великої вітчизняної війни П.П.Смірнов, крім занять в інституті, читає лекції на призовних пунктах. Історико-архівний інститут не був евакуйований, його керівництво (директор – В.І.Мартинов і заступник директора С.С.Болтинов) виїхали з Москви.

У жовтні 1941 р. Історико-архівний інститут був закритий, але за ініціативою і участю П.П.Смірнова був написаний лист заступнику наркома внутрішніх справ НКВС СРСР С.С.Чернишову, що був керівником Історико-архівного інституту, в результаті робота закладу була відновлена. В листопаді 1941 р. Історико-архівний інститут знову відкрив свої двері, за наказом начальника ГАУ НКВС СРСР В.І.Нікітінського Павло Петрович був призначений в.о.директора. «В інституті було холодно, часто вимикалася електроенергія, не з усіх дисциплін були викладачі, лекції супроводжувалися звуками сирени повітряної тривоги, артилерійськими залпами...». Незважаючи на всі складнощі, в інституті поступово налагоджувалося звичне життя, посаду в.о.директора Павло Петрович займав до травня 1942 р., після директором став П.Б.Жибарев. Саме завдяки зусиллям і наполегливості Павла Петровича у воєнні роки Історико-архівний інститут не був закритий, а продовжував свою роботу, в той час коли німецькі війська стояли під Москвою.

В 1942 р. П.П.Смірнов завідував кафедрою історії СРСР Московського педагогічного інституту, завершив роботу над книгою «Посадские люди и их классовая борьба до середины XVII века», у двох томах, і представив її до захисту на вченій раді МПІ в якості докторської дисертації¹.

¹ 1. Смирнов, Павел Петрович. Посадские люди и их классовая борьба до середины XVII века [Текст] / Павел Смирнов ; Акад. наук СССР. Ин-т истории. – Москва ; Ленинград : Акад. наук СССР, 1947-1948. – 2 т.; Т.1. – 1947. – 490 с.

2. Смирнов, Павел Петрович. Посадские люди и их классовая борьба до середины XVII века [Текст] / Павел Смирнов ; Акад. наук СССР. Ин-т истории. – Москва ; Ленинград : Акад. наук СССР, 1947-1948. – 2 т.; Т.2. – 1948. – 736 с.

Захист дисертації, що відбувся 22 вересня 1943 р., пройшов блискуче, робота була рекомендована до друку, і в тому ж році праці була присуджена Сталінська премія. Тоді ж Сталінську премію отримали С.С.Прокоф'єв, В.А.Пир'єв, Д.Ф.Ойстрах, А.В.Хачатурян, О.Л.Кніппер-Чехова та ін.

Павло Петрович безкорисливо передав свою премію в розмірі 100 тис. рублів у фонд оборони СРСР у Великій Вітчизняній війні. Діяльність П.П.Смірнова була оцінена урядом: він був нагороджений орденами «Трудового Червоного Прапора», медалями «За оборону Москви» і «За доблесну працю у Великій Вітчизняній війні 1941-1945 рр.».

Практично до останніх днів свого життя П.П.Смірнов продовжував працювати. Останній раз він був в Історико-архівному інституті 11 березня 1947 р., коли читав лекції і проводив засідання історичного гуртка, було багато наукових планів, яким так і не судилося збутися. Після проведеної операції з 22 березня 1947 р. знаходився в лікарні. Павло Петрович Смірнов помер 2 квітня 1947 р.

Павло Петрович казав: «Єдина цінність, яку я маю – це моя добре підібрана історична бібліотека». Він збирав її усе життя, бібліотека була його робочою, з неї він давав потрібні книги своїм аспірантам. 2000 книг були передані Історико-архівному інституту, з них вісімдесят відсотків вважаються рідкісними та цінними.

В 1950 р. після смерті Павла Петровича Смірнова його дружина передала до бібліотеки Історико-архівного інституту колекцію інших робіт, що включає 136 папок, 25000 листів і відображає наукові інтереси історика. В колекціях книги з вітчизняної історії, з історії російських міст, а також численні публікації документів і джерел, написані Павлом Петровичем з його помітками і правками, які знаходяться у Відділі рукопису Російської державної бібліотеки (ВР РДБ).

У записках Н.А.Ковальчук містяться такі спогади, про портрет професора Смірнова, що відноситься до періоду Великої Вітчизняної війни: «Людина дещо вище середнього зросту в чорному костюмі з дорогого матеріалу, але помітно потертому. Біла сорочка, старомодна краватка не надавали витонченості його зовнішності, та він і не звертав на неї уваги. Його внутрішня сутність передавалася через чудові задумливі, злегка втомлені очі, які постійно світилися добротою, ласкою і глибоким розумом. Обличчя теж втомлене, вкрите глибокими зморшками, хоча він був не так вже старий, про що говорила його міцно збита постать, яка зберегла стрункість, з губ майже не сходила посмішка. Він мав невеликий прямий ніс і окуляри з масивними товстими скельцями, з його добрими очима не зовсім поєднувалося тверде вперте підборіддя вольової людини. Ще у нього було чудове густе волосся, що підкреслювало красу обличчя, сивувате високо зачесане пишним «їжачком». Високе квадратне чоло, як і волосся, прикрашало його просте і приємне обличчя російського інтелігента. А вже інтелігент він був до кінчиків нігтів, інакше про нього не скажеш».

***Г.Я. СМІРНОВА**, кандидат геологічних наук,
доцент каф. геології і прикладної мінералогії, КНУ*

***О.Я. СМІРНОВ**, кандидат геологічних наук,
заст. нач. кар'єру з технології та якості,
ПАТ «ІнГЗК»*

***Д.Д. СМІРНОВА**, студентка, КНУ*

Гірничий вісник

Науково-технічний збірник

Випуск 105

Редактор, коректор
Комп'ютерний набір, верстка

Наумова Н.В.
Підпригора Н.П.

Здано в набір 19.04.19 р. Підписано до друку 26.04.19 р. за рекомендацією Вченої Ради

ДВНЗ «Криворізький національний університет», протокол № 9 від 23.04.2019 р.

Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 12,09 Тираж 100 прим.

Замовл. № 5. Укр., рос., англ.

Надруковано:

ФОП Бурова Оксана Анатоліївна

Свідоцтво ДП № 159-р від 26.03.13.

мкр. Ювілейний, 10/104, м. Кривий Ріг, 50084

Тел. 067-7733717

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