

Міністерство освіти і науки України
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

В і с н и к
Криворізького національного
університету

Збірник наукових праць

Випуск 47

Кривий Ріг 2018

Редакційна колегія: **Ступнік М.І.**, д-р техн. наук, проф. (головний редактор); **Моркун В.С.**, д-р техн. наук, проф. (заступник головного редактора); **Азарян А.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Бережний М.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Вагонова О.Г.**, д-р економ, наук, проф.; **Варава Л.М.**, д-р економ, наук, проф.; **Вілкул Ю.Г.**, д-р техн. наук, проф.; **Гірін В.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Голишев О.М.**, 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.; **Зінченко О.А.**, д-р економ, наук, проф.; **Зубов Д.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Льяс Ніколає**, доктор-інженер, проф.; **Калініченко В.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Кіяновський М.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Ковальчук В.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Коробко В.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Купін А.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Лялюк В.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Несмашний Є.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Нусінов В.Я.**, д-р економ, наук, проф.; **Олійник Т.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Решетілова Т.Б.**, д-р економ, 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.; **Сінолиций А.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Сінчук О.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Стороженко Л.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Ткаченко А.М.**, д-р економ, наук, проф.; **Толмачов С.Т.**, д-р техн. наук, проф.; **Турило А.М.**, д-р економ, наук, проф.; **Учитель О.Д.**, д-р техн. наук, проф.; **Федоренко П.Й.**, д-р техн. наук, проф.; **Шишкін О.О.**, д-р техн. наук, проф.

Збірник внесено до Переліку фахових видань, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт (наказ Міністерства освіти і науки України № 326 від 04.04.2018 р.).

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 та економічних наук. Розглянуто шляхи підвищення ефективності промислових виробництв, автоматизації, контролю та керування технологічними процесами. Важливе місце займають питання енергозбереження, економії, надійності охорони праці, техніки безпеки, захисту довкілля.

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

Випуск № 47 рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет Вченою радою ДВНЗ «Криворізький національний університет» (протокол № 8 від 24.04.2018 року).

Адреса редакції: ДВНЗ «Криворізький національний університет»

вул. Пушкіна, 44, Кривий Ріг, 50002,

Тел. (056) 409 61 29

web-сайт <http://visnykknpu.com.ua>

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

<i>Ступнік М.І., Федько М.Б., Письменний С.В., Колосов В.О., Курносів С.А., Маланчук З.Р.</i> Проблеми розкриття та підготовки рудних родовищ на глибоких горизонтах шахт Кривбасу	3
<i>Мацуї А.М.</i> Математичне моделювання характеристик різномірного кульового навантаження млина першої стадії подрібнення вихідної руди	8
<i>Солодянкин О.В., Дудка І.В., Григор'єв О.Є., Солодянкина О.А.</i> Вдосконалена методика проведення інструментальних вимірювань у виробках з металевим арочним кріпленням	14
<i>Сінчук О. М., Філіпп Ю. Б., Кутовий Ю. М.</i> Тенденції розвитку і удосконалення електрообладнання скіпових підйомних установок шахт	20
<i>Артемів С.В., Кононов Г.С., Дубровський С.С., Качур О.В.</i> Підвищення технічного рівня роликів стрічкових конвеєрів	26
<i>Бровко Д.В., Хворост В.В.</i> Построение моделей возможных дефектов объектов поверхности шахт в виде анализа статистических данных их технических осмотров	32
<i>Несмаиный Е.А., Ткаченко Г.И., Болотников А.В.</i> Применение метода конечных элементов для оценки степени устойчивости групп уступов и бортов карьера № 3 ЧАО «ЦГОК»	38
<i>Жученко О. А., Коротинський А. П.</i> Дослідження впливу розрідження на температурний режим процесу випалювання вуглецевих виробів на етапі камера «під вогнем»	44
<i>Чередник В.А.</i> Вугільна промисловість України у розрізі світових кліматичних цілей	49
<i>Федоренко П.Й., Долгих О.В., Долгих Л.В.</i> Аналіз факторів, що впливають на положення реперів профільних ліній спостережної станції	55
<i>Рудь Ю. С., Кучма В. В., Белоножко В. Ю.</i> О динамической устойчивости става штанг станков шарошечного бурения СБШ-250	59
<i>Латшин О.Є., Гацький А.К., Гацький І.А.</i> Розробка конструкції запобіжного рухомого кріплення при проведенні гірничих виробок	64
<i>Азарян А. А., Зубкевич В. Ю., Швец Д. В.</i> Разработка комплексной системы для повышения качественных показателей железной руды	68
<i>Пахомов В.І., Гірін І.В., Пристинський М.Г.</i> Дослідження характеристик ефективності екскаваторно-автомобільних комплексів на кар'єрах Кривбасу	76
<i>Шоповалова Н. Н., Доценко І. О., Щербина В. О.</i> Ідентифікація користувача системи за відбитками пальців на основі методів штучного інтелекту	81
<i>Вусик О.О., Піжжик А.М.</i> Передумови та реалії застосування гірничих комбайнів фрезерного типу на залізрудних кар'єрах	84
<i>Лобов В.Й., Лобова К.В., Даць А. В.</i> Супервізорне керування режимами роботи газоповітряної енергетичної установки	90
<i>Калініченко О.В.</i> Фізичне моделювання стійкості масиву при формуванні та підтримці підземних гірських виробок	97
<i>Громадский А.С., Громадский В.А., Громадский Вик.А., Чумак Ю.И.</i> Обоснование рациональных эксплуатационных параметров оборотов буровых ставов станков шарошечного бурения	102
<i>Кіянновський М.В., Бондар О.В.</i> Конструктивне забезпечення сталості врівноваженого положення валів роторних машин в опорах ковзання	112
<i>Завершинська Ю.І.</i> Аналіз сучасного стану землевпорядкування в Україні	116
<i>Максимов С.В., Максимова О.С.</i> Оптимізація структури ремонтних циклів кар'єрних самоскидів на основі дослідження надійності їх роботи	122
<i>Паламар А.Ю., Полтавченко А.В.</i> Особливості кадастрової оцінки лісових ресурсів	128
<i>Гірін І.В.</i> Можливості інтенсифікації процесу електрифікації авторинку України	133
<i>Жуков С.А., Луценко С.А.</i> Исследование влияния производительности карьера на экономические показатели разработки	139
<i>Гулівець О.А., Олійник С.Ю.</i> Векторний метод диференціювання векторних функцій скалярного аргумента	143
<i>Нечасєв В.П., Рязанцев А.О., Солодун О.О.</i> Вплив силового і теплового навантаження зуба фрези на стійкість леза при плазмово-механічному фрезеруванні	149
<i>Таїрова Т. М.</i> Оцінювання результативності СУОП у хімічному комплексі	153
<i>Письменний С.В.</i> Исследование формы очистного блока в неустойчивых рудах Криворожского железорудного бассейна	160
<i>Шашенко О.М., Хозяїкіна Н.В., Дубовик О.І.</i> Оцінка економічної доцільності повторного використання підготовчих виробок на шахті «Краснолиманська»	165
<i>Бабець Д.В., Сдвижкова Е.А., Сосна Д.О.</i> Численное моделирование влияния поверхности трещин при оценке прочности породного массива	169
АНОТАЦІЇ ..	
<i>А н о т а ц і ї ..</i>	176

Збірник наукових праць

В і с н и к
Криворізького національного університету

Випуск 47

Редактор, коректор
Комп'ютерний набір, верстка

Наумова Н.В.
Підпригора Н.П.

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

Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 19,3. Тираж 100 прим.

Замовл. № 7. Укр., рос.

Надруковано:

ФОП Бутова Оксана Анатоліївна
Свідоцтво ДП № 159-р від 26.03.13.
мкр. Ювілейний, 10/104, м. Кривий Ріг, 50084
Тел. (056) 401-04-29

Адреса видавництва:

вул.В.Матусевича, 11, Кривий Ріг, 50027

*ДВНЗ «Криворізький національний університет»
2018. Вип. 47, С. 3-212*

УДК 622.234.4: 622.349.5: 622.831

М.І. СТУПНІК, д-р техн.наук, проф., М.Б. ФЕДЬКО, С.В. ПИСЬМЕНІЙ, кандидати техн.наук, доценти, Криворізький національний університет

В.О. КОЛОСОВ, д-р техн.наук, проф., асоціація «УКРРУДПРОМ»

С.А. КУРНОСОВ, д-р техн.наук, проф., Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

З.Р. МАЛАНЧУК, д-р техн.наук, проф., Національний університет водного господарства та природокористування

ПРОБЛЕМИ РОЗКРИТТЯ ТА ПІДГОТОВКИ РУДНИХ РОДОВИЩ НА ГЛИБОКИХ ГОРИЗОНТАХ ШАХТ КРИВБАСУ

Мета. Метою даної роботи є аналіз, дослідження та розробка ефективних варіантів розкриття та підготовки глибоких горизонтів шахт Кривбасу.

Методи дослідження. В представленій роботі виконано детальний техніко-економічний аналіз факторів і умов, які впливають на ефективність застосування схем розкриття та підготовки глибоких горизонтів. Виконано комп'ютерне моделювання існуючих та розроблених схем розкриття та підготовки горизонтів залізрудних шахт на глибинах понад 1500 м.

Застосування методів моделювання, заснованих на теорії подібності, дозволив зробити висновки, які лягли в основу наукових та практичних рекомендацій по вибору оптимальних варіантів розкриття та підготовки родовищ в залежності від гірничо-геологічних та технологічних умов залізрудних шахт Кривбасу.

Наукова новизна. Теоретичними дослідженнями встановлено оптимальну глибину I-го ступеня розкриття рудних родовищ Кривбасу, яка на сьогоднішній день є доцільною у межах 1600-1800 м. Встановлено закономірності впливу поглиблення гірничих робіт до 1600-1800 м на гірничотехнічні умови розробки, на трансформації фізико-механічних характеристик гірських порід і їх геомеханічного стану.

Практична значимість. Виконаними дослідженнями актуалізована доцільність впровадження схеми розкриття родовищ концентраційними горизонтами на глибоких горизонтах Криворізьких шахт. Це дасть змогу отримати значний економічний ефект за рахунок відпрацювання 2-3 поверхів на один концентраційний горизонт, заощадивши таким чином на проведенні поверхових квершлагів, приствольних дворів та інших виробок.

Удосконалено існуючі та розроблено нові раціональні схеми розкриття і підготовки глибоких горизонтів шахт Кривбасу, що створює умови для застосування ефективних технологій видобутку руди із використанням самохідної техніки.

Результати. На підставі виконаних досліджень та встановлених залежностей запропоновані оптимальні варіанти розкриття та підготовки родовищ. Доведена доцільність розкриття та підготовки глибоких горизонтів концентраційними горизонтами, що забезпечує безпеку робіт та заощаджує кошти на підготовці проміжних поверхових горизонтів.

Ключові слова: родовища корисних копалин, глибокі горизонти, розкриття, підготовка, геомеханічні процеси.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-3-8

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На шахтах Криворізького залізрудного басейну глибина існуючих підйомних стволів наближається до граничної глибини I ступеню підйому, яка для багатьох діючих підйомних установок дорівнює 1500 м. Враховуючи це, при теперішніх річних потужностях шахт очисні роботи досягнуть граничної глибини I ступеню підйому через 15-25 років.

Однак запаси багатой залізної руди технічно можливо відпрацьовувати й глибше, що підтверджує досвід провідних глибоких шахт світу. При цьому техніко-економічні показники видобутку можуть погіршитись внаслідок недостатньої якості залізної руди, відставання рівня технологій, значного часу на підготовку нових горизонтів, збільшення площі відчужуваних під зони порушень земель, підвищення енергоємності підприємств, а також зменшення їх річної продуктивності.

Враховуючи викладене для подальшого розвитку шахт Кривбасу необхідно обґрунтувати раціональні способи розкриття та підготовки родовищ, які дозволять успішно працювати підприємствам на глибинах понад 1500 м без критичних обсягів капітальних та експлуатаційних витрат.

Аналіз досліджень і публікацій. Із загального обсягу залізрудної сировини, яка видобувається в Україні, на долю Кривбасу приходить близько 80%, при цьому питома вага підземного способу складає близько 30% [1-3, 6].

Дослідженнями [4-9, 12] встановлено, що при сучасному рівні виробничої потужності гірничих підприємств очисні роботи шахт досягнуть півторакілометрових глибин через 15-25 років. На сьогоднішній день запаси залізної руди технічно можливо відпрацьовувати й глибше, ніж проектні або граничні глибини, що дає змогу продовжити термін роботи гірничих підприємств [10, 11, 13-15]. Однак при цьому техніко-економічні показники ймовірно можуть погіршитись внаслідок недостатнього вмісту заліза в руді та відставання технологічного рівня її видобутку. Підготовка нових горизонтів потребує значного часу, затрат на компенсацію збільшення площ відчужуваних під гірничі відводи земель, підвищення енергоємності підприємств. Все це може обумовити зменшення річної продуктивності шахт [2-6, 11].

У роботах [16,17] приведено методику визначення обсягів гірничо-капітальних робіт при здійсненні економіко-математичного моделювання схем розкриття рудних родовищ, а також визначена оптимальна величина I-го ступеня розкриття для шахт Кривбасу, яка згідно дослідження авторів, складає 1200-1500 м. Але оскільки ці висновки були отримані шляхом економіко-математичного моделювання і у моделі були закладені ціни на матеріали, устаткування, проведення різних виробок, що були чинними у середині 70-х років минулого століття, ці висновки потребують суттєвого коригування, так як за більш ніж 40-річний період рівень зростання вищезазначених цін значно випередив рівень підвищення відпускних цін на залізорудну продукцію. Підтвердженням цього є стратегія відпрацювання глибоких горизонтів шахт, що входять до складу ПАТ «Кривбасзалізрудком», де заплановано заміну усіх головних підйомних установок на сучасні, що дозволяють здійснювати підйом руди на поверхню з глибин 1700-1800 м.

В роботі [18] розглянутий досвід підземних робіт на надглибоких рудниках світу. Наведені приклади роботи шахт золоторудного району Колар (Індія), на яких глибина гірничих робіт досягає 3500 м; Ранда (ПАР), де глибина розробки досягає 4000 м та Лейк Шор (Канада) з глибиною розробки 3000-3200 м. Рудник Морро Велько (Бразилія) має глибину розробки 3200-3500 м, мідно-нікельові рудники Північної Родезії (Африка) і району Садбері (Канада) мають глибину гірничих робіт 2000-2500 м.

На цих рудниках розкриття глибоких горизонтів здійснено за багатоступеневою (від 3 до 5 ступенів) схемою. Глибина стволів першого ступеня, пройдених з поверхні, складає від 700 до 2200 м (рудники Чемпіон Риф, Колар). Глибина сліпих стволів другого, третього і подальших ступенів, які проходились для розкриття глибоких горизонтів, дорівнювала 700-1200 м, при цьому перевагу віддавали вертикальним сліпим стволам круглого перерізу. Очевидно, що застосування більш досконалих багатоканатних підйомних установок дозволило збільшити глибину прямого підйому, а відповідно й ступенів розкриття.

Досвід роботи глибоких шахт світу показав доцільність широкого застосування перепуску руди і пустих порід по піднятковим великої висоти. Так, наприклад, на руднику Лейк Шор висота піднятвего для перепуску руди дорівнює 1230 м. Ємність таких підняткових складає 2500-3000 т. Система рудоперепускних підняткових дозволяє зменшити капітальні витрати на проходку та облаштування скіпових приствольних дворів і підземних бункерів. Як наслідок, розкриття родовищ концентраційними горизонтами на нових шахтах району Ранда дозволило облаштувати підземні бункери через чотири поверхи, а на руднику Лейк Шор взагалі через тридев'ять поверхів.

Досвід глибоких і надглибоких рудників світу представляє практичний інтерес для вчених, проєктантів і виробничників Кривбасу при вирішенні питань розкриття глибоких горизонтів на залізорудних шахтах басейну.

Постановка завдання. Враховуючи відносно невеликий період досягнення підземними гірничими роботами у Криворізькому басейні граничної глибини першого ступеню шахтного підйому, вже зараз необхідно обґрунтувати раціональні способи ефективного розкриття та підготовки глибоких горизонтів, які дозволять підприємствам працювати рентабельно на глибинах понад 1500 м при помітно обґрунтованих рівнях капітальних та експлуатаційних витрат. Тому метою даної роботи є аналіз, дослідження та розробка ефективних варіантів розкриття та підготовки запасів руди на глибоких горизонтах шахт Криворізького залізорудного басейну.

Викладення матеріалу та результати. Для розробки крутоспадних рудних родовищ на великих глибинах (1800-2500 м), враховуючи досвід глибоких шахт зарубіжних рудників, більшість науково-проєктних розробок рекомендує застосовувати ступінчасте розкриття глибо-

ких горизонтів вертикальними стволами, пройденими в лежачому боці покладу.

В свою чергу ступінчасте розкриття глибоких горизонтів вертикальними стволами можна поділити на:

технології розкриття родовищ концентраційними горизонтами;

комбіновані технології розкриття родовищ основними стволами першої черги та сліпими стволами другої черги.

Розкриття родовищ концентраційними горизонтами передбачає збільшення глибини відпрацювання родовищ першим ступенем підйому з 1500 м до 1800-2000 м. Такий приріст глибини можливий за рахунок заміни старих підйомних установок на більш сучасні та ефективні. Для подальшого поглиблення гірничих робіт необхідно переходити на комбіновані технології розкриття родовищ основними стволами першої черги та сліпими стволами другої черги.

В процесі розкриття нижньої частини родовища сліпим рудопідйомним стволом проходять спеціальні виробки і камери для розміщення та обладнання підйомної установки другої черги, виробки приствольного двору, водовідливу та ін.

Подальше розкриття та підготовка нижніх горизонтів через сліпий вертикальний рудопідйомний ствол може здійснюватися як за традиційною поверховою схемою, так і схемою розкриття родовища концентраційними горизонтами.

Існуючі на рудниках Криворізького басейну схеми розкриття вертикальними скіпоклітьовими стволами з поверхні до глибини 1500 м і способи підготовки крутоспадних і похилих потужних рудних родовищ практично вичерпали технологічні та підйомні можливості. Це знайшло своє відображення у невідповідності між тривалістю розкриття та підготовки нових горизонтів і періодом відпрацювання запасів руди на експлуатаційних горизонтах; у значних обсягах гірничокапітальних робіт, які припадають на 1 т підготовлених запасів; у збільшенні собівартості видобутку 1 т руди.

У Криворізькому залізорудному басейні відсутній досвід розкриття і відпрацювання багатих руд на глибинах 1500-2000 м. Тому вже зараз назріла нагальна необхідність пошуку, дослідження, обґрунтування і впровадження раціональних способів і схем розкриття та підготовки глибоких горизонтів (1500-2000 м), які здатні забезпечити ефективну технологію видобутку руди, економічно допустиму її собівартість при відносно невисоких питомих капітальних вкладеннях.

Виконаними дослідженнями встановлено, що в умовах Криворізького басейну розкриття та відроблення рудних родовищ на глибинах 1500-2000 м можливо здійснити за двома варіантами:

збільшення глибини I-го ступеня шляхом подальшого поглиблення основних скіпових рудопідйомних і допоміжних клітьових стволів до глибини 2000 м (тобто до максимально можливої глибини підйому сучасних багатоканатних підйомних установок), заміна діючих скіпових установок на більш продуктивні з більшою глибиною підйому та розкриття нижніх поверхів концентраційними горизонтами;

перехід на II-й ступінь розкриття і підготовки рудних покладів сліпими стволами та концентраційними горизонтами з глибини 1400-1500 м.

За сучасного стану гірничодобувної галузі України більш прийнятним вважається перший варіант.

Для вибору оптимальної схеми розкриття родовища та визначення кількості концентраційних горизонтів доцільно виконувати техніко-економічне порівняння можливих варіантів. Визначення раціонального варіанту здійснюється з урахуванням критерія оптимальності, в якості якого використовують мінімум приведених питомих витрат на видобуток 1 т руди

$$B_{np.} = E_n k_{np} + C_v \rightarrow \min,$$

$$\text{або } B_{np.} = E_n (k_{кв} + k_{ДБК} + k_{пв} + k_{кр}) + (C_{пер} + C_m + C_{вод} + C_{вент} + C_{пв}) \rightarrow \min,$$

де E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, частка од., $k_{кв}$ – питомі капітальні витрати на проходку квершлагів, грн/т; $k_{ДБК}$ – питомі капітальні витрати на будівництво підземного дробильно-бункерного комплексу, грн/т; $k_{пв}$ – питомі капітальні витрати на проведення та облаштування виробок і камер приствольних дворів, грн/т; $k_{кр}$ – питомі капітальні витрати на проходку капітальних рудоспусків, грн/т; $C_{пер}$ – питомі експлуатаційні витрати на перепуск руди з проміжних на концентраційні горизонти, грн/т; C_m – питомі експлуатаційні витрати на транспорт руди до ствола шахти, грн/т; $C_{вод}$ – питомі експлуатаційні витрати на во-

довідлив, грн/т; $C_{вент}$ – питомі експлуатаційні витрати на вентиляцію, грн/т; $C_{пв}$ – питомі експлуатаційні витрати на підтримання виробок у безпечному стані, грн/т.

Розглянемо алгоритм реалізації схеми розкриття рудного родовища на глибині 1500-2000 м концентраційними горизонтами на прикладі шахти «Родіна» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат».

Рудопідйомний ствол шахти «Родіна», пройдений до гор. 1540 м, оснащений скіповою підйомною установкою зі скіпами 50 т дозволяє при швидкості руху скіпів 10 м/с досягнути технічної продуктивності підйому з горизонтів:

1315 м – 4,76 млн т/рік;

1465 м – 4,22 млн т/рік.

Гранична глибина підйому багатоканатної скіпової підйомної установки – 1800 м.

Довжина головного квершлягу на горизонтах:

гор. 1315 м – 2010 м;

гор. 1465 м – 2200 м.

Час проходки головного квершлягу при нормативній швидкості 70 м/міс на гор. 1315 м – 28,7 міс., на гор. 1465 м – 31,4 міс.

Родовище шахти «Родіна» розкрито і підготовлено здвоєними поверхами загальною висотою 150 м, рис. 1. Сутність способу полягає в тому, що одночасно розкривають і підготовлюють два поверхи (висота поверху 70-80 м). Один із поверхів – нижній, є основним.

На основному горизонті проходять всі приствольні виробки і камери, транспортний квершляг до покладів, відкотні польові штреки, капітальні підняття та ін.

На проміжному горизонті проходять транспортні виробки, капітальні рудоспуски на основний горизонт та необхідний для розвантаження вагонеток бункер.

Схема розкриття та підготовки рудних покладів здвоєними поверхами, при якій рудопідйомний ствол з'єднують з проміжним горизонтом транспортним квершлягом, дозволяє здійснювати перепуск руди з проміжного горизонту на основний по капітальним рудоспускам.

На сьогоднішній день основні транспортні горизонти на шахті «Родіна» облаштовані на відмітках 1315 м і 1465 м, проміжні горизонти – на відмітках 1390 м та 1540 м. У майбутньому передбачається спорудження основних транспортних горизонтів на відмітках 1615 м і 1765 м.

Згідно з запропонованою технологією відпрацювання рудних покладів, при розкритті горизонтів здвоєними поверхами та застосуванні системи підповерхового обвалення руди і вм'ячуючих порід, здійснюють одночасно на двох поверхах. Така технологія дозволяє збільшити коефіцієнт використання рудної площі та інтенсивність розробки родовища.

Розкриття і підготовка основних горизонтів здійснюється двоколійними квершлягами, пройденими від ствола шахти «Родіна», одноколійними польовими відкотними штреками і тупиковими та закільцьованими ортами-заїздами, пройденими через кожні 60 м.

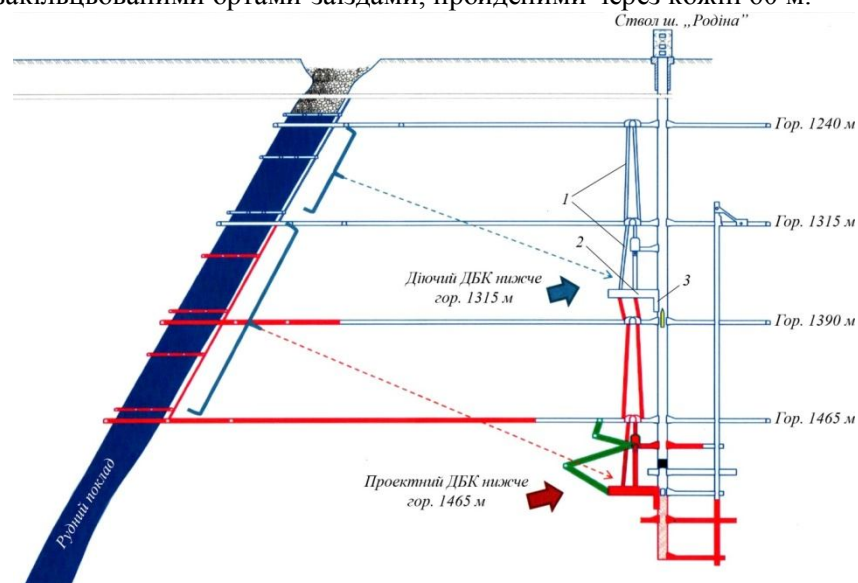


Рис. 1. Принципова схема розкриття та підготовки родовища шахти «Родіна» здвоєними поверхами:
1 – капітальні рудоспуски; 2 – дробильно-бункерний комплекс; 3 – дозатор

Розкриття і підготовка проміжних горизонтів здійснюється одноколіїним відкотним квершлагом, польовими відкотними штреками та ортами-заїздами.

Для відпрацювання запасів руди у поверхах застосовують систему підповерхового обвалення руди і вміщуючих порід. Доставка руди до рудоперепускних підняттявих здійснюється скреперними лебідками 30ЛС-2С, 55ЛС-2С, навантаження руди у вагонетки – за допомогою вібролюків типу АШЛ.

На основних і проміжних транспортних горизонтах застосовується електровозна відкатка руди електровозами типу 14КР, К-14У та вагонетками типу ВГ-4,5 та ВГ-4,5А вантажопідйомністю 10 т.

Для доставки людей від ствола до робочих місць використовуються вагони типу ВПШ-18.

Аналіз сучасного стану гірничих робіт на шахті «Родіна» показав, що у найближчі 2-3 роки виникне критичне положення з подальшим відпрацюванням запасів руди гор. 1390 м внаслідок відставання будівництва цього горизонту та дробильно-бункерного комплексу гор. 1465 м.

Висновки та напрямки подальших досліджень. На підставі викладеного вище можна зробити наступні висновки:

1. Рудне родовище шахти «Родіна» на глибоких горизонтах розкрито чотирма вертикальними стволами шахт «Родіна», ім. газети «Правда», «Північна Вентиляційна», «Нова Південна Вентиляційна», пройденими з поверхні в лежачому боці, а також двома сліпими допоміжними стволами за схемою здвоєних поверхів загальною висотою 150 м з розташуванням основних транспортних горизонтів на відмітках 1315 м і 1465 м.

2. Гранична глибина підйому нині діючої скіпової підйомної установки дорівнює 1800 м. Виходячи з підйомних можливостей шахти, подальше розкриття, підготовка та відпрацювання рудних покладів нижче гор. 1540 м може бути здійснено шляхом подальшого поглиблення стволів шахт «Родіна» та ім. газети «Правда» до глибини 1800-1900 м.

3. Збільшення глибини I-го ступеня підйому можливо шляхом подальшого поглиблення основних скіпових рудопідйомних і допоміжних клітьових стволів до глибини 2000-2200 м і заміни діючих скіпових установок на більш продуктивні з більшою глибиною підйому.

4. У довгостроковій перспективі у випадку економічної доцільності може бути здійснено перехід на II-й ступінь розкриття і підготовки рудних покладів сліпими стволами та концентраційними горизонтами з глибини 2000-2200 м.

Список літератури

1. **Короленко М.К.** Розширення сировинної бази підземного Кривбасу за рахунок залучення до видобутку магнетитових кварцитів / **Короленко М.К., Ступнік М.І., Калініченко В.О., Перегудов В.В., Протасов В.П.** // Монографія. – Кривий Ріг: Дионис, 2012. – 236 с.
2. **Ступнік М.І.** Стан і перспективи розвитку підземних гірничих робіт у Криворізькому басейні / **Ступнік М.І., Колосов В.О., Калініченко В.О.** // Розробка родовищ : щорічний наук.-техн. збірник. – Дніпропетровськ: ТОВ ЛізуновПрес. – 2013. – С. 223-228.
3. **Колосов В.О.** Состояние и перспективы развития горнодобывающей промышленности Украины / **Колосов В.О., Ступнік М.І., Калініченко В.О.** // Розробка родовищ : щорічний наук.-техн. збірник. – Д: ТОВ «ЛізуновПрес». – 2014. – С. 193-197.
4. **Ступнік Н.И.** Отработка природно-бедных руд Криворожского железорудного бассейна с закладкой выработанного пространства / **Ступнік Н.И., Колосов В.А., Калиниченко В.А., Письменный С.В., Федько М.Б.** // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2014. – № 3. – С. 95-98.
5. **Калініченко В.О.** Розкриття запасів залізних руд криворізького басейну підземним способом нижче глибини 1500...1700 м / **Калиниченко В.А., Письменный С.В., Калиниченко О.В.** / Збірник наукових праць "Вісник НУВГП". – Рівне. – 2018. - Випуск 1 (81) серія "Технічні науки". – С.229-240.
6. **Калиниченко В.А.** Тенденции в развитии горнодобывающего комплекса и проблемы технического перевооружения подземных рудников / **Калиниченко В.А., Жуков С.А., Калиниченко Е.В.** // Монография. - Кривой Рог : Минерал, 2007. – 172 с.
7. **Ступнік М.І.** Перспективи підземного видобутку та переробки багатих залізних руд в умовах можливого заміщення їх налягаючими глинистими породами / **Ступнік М.І., Калініченко В.О.** // Збагачення корисних копалин. Дніпропетровськ. – 2011. – Вип. 46(87). – С. 24-27.
8. **Ступнік М.І.** Комбіновані способи подальшої розробки залізних родовищ Криворізького басейну / **М.І. Ступнік, С.В. Письменний** // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – 2012. – № 95(1). – С. 3-7.
9. **Ступнік Н.И.** Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды / **Н.И. Ступник, С.В. Письменный** // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – № 30. – С. 3-7.
10. **Письменный С.В.** Отработка сложно-структурных залежей богатых руд камерными системами разработки / **С.В. Письменный** // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – 2014. – № 97. – С. 3-7.

11. Колосов В.А. Современное состояние и перспективы развития предприятий по добыче и переработке железорудного и флюсового сырья в Украине / В.А. Колосов, В.П. Воловик, Н.И. Дядечкин // Горн. журн. – М. : МГУ, 2000. – №6. – С. 162-168.
12. Черных А.Д. Комплексная разработка рудных месторождений / А.Д. Черных, В.А. Колосов, О.С. Брюховецкий и др.; Под ред. А.Д. Черных. – К. : Техніка, 2005. – 376 с.
13. Бовин А.А. Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых на больших глубинах / А.А. Бовин, М.В. Курленя, Е.И. Шемякин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – М.: [б. и.], 1983. – № 3. – С. 64-73.
14. Tarasyutin V.M. Geotechnology features of high quality martite ore from deep mines of Kryvyi Rih basin. // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2015. Issue 1. P. 54–60.
15. Khomenko O. Implementation of energy method in study of zonal disintegration of rocks // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2012. Issue 4. P. 44–54.
16. Лебедев И.М. Определение объемов горно-капитальных выработок при экономико-математическом моделировании схем вскрытия//Разработка рудных месторождений: республик. межвед. науч.-техн. сборник. – К.: Техніка. – 1978. – Вип. 26. – С. 17-20.
17. Фаустов Г.Т. Определение оптимальной величины I ступени вскрытия месторождений Кривбасса/Фаустов Г.Т., Лебедев И.М. //Разработка рудных месторождений: республик. межвед. науч.-техн. сборник. – К.: Техніка. – 1977. – Вип. 24. – С. 13-16.
18. Малахов Г.М. Вскрытие и разработка рудных месторождений на больших глубинах./ Г.М.Малахов, А.П.Черноус // М.: Госгортехиздат, 1960. – 300 с.

Рукопис подано до редакції 02.04.2018

УДК 681.5.015.23:681.5.015.24

А.М. МАЦУЙ, канд. техн. наук, доц.

Центральноукраїнський національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РІЗНОРОЗМІРНОГО КУЛЬОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ МЛИНА ПЕРШОЇ СТАДІЇ ПОДРІБНЕННЯ ВИХІДНОЇ РУДИ

Мета. Метою роботи є математичне моделювання різномірного кульового навантаження млина першої стадії подрібнення руди для удосконалення механізму впливу на сумарні характеристики при досягненні його оптимального раціонального значення, що забезпечує найвищу продуктивність.

Методи дослідження. Базувалися на теорії математичного моделювання, теорії спрацювання куль, побудови характеристик кульового навантаження, режимів роботи кульових млинів, теорії та практиці раціонального довантаження куль у технологічні агрегати.

Наукова новизна. Полягає в тому, що удосконалено механізм впливу на сумарні характеристики різномірного кульового навантаження млинів, що дає можливість більш ефективно досягати його оптимального раціонального значення, яке забезпечує найвищу продуктивність технологічного агрегату за готовим продуктом.

Практична значимість. Полягає в тому, що відкривається перспектива більш швидкого отримання обґрунтованої за параметрами сумарної характеристики кульового навантаження і спрощення вартісних експериментальних досліджень щодо забезпечення підвищення максимальної продуктивності технологічного агрегату за готовим продуктом.

Результати. Встановлено, що при виборі характеристики кульового навантаження необхідно враховувати режим роботи млина. Характеристики крупності розглядалися при чотирьох початкових розмірах куль, однак їх можливо брати і більше. Більше п'яти початкових розмірів куль на практиці не використовують. При виборі складу куль, що претендує на оптимальний раціональний, необхідно характеристику розпочинати з максимального розміру кулі та розташовувати її практично паралельно ідеалізованій та реальній характеристиці, що відповідає обраному режиму роботи. Початкові характеристики визначають характер сумарних характеристик. Рівномірність розташування S-подібних сумарних характеристик відносно ідеалізованих залежить від положення останніх. Змінюючи положення початкових характеристик кульового навантаження млина, можливо впливати на сумарні характеристики. Вибір початкових характеристик кульового навантаження млина відрізняється широкими можливостями. На них можливо впливати вибором максимального розміру кулі у кульовому навантаженні, кількості обраних розмірів куль, процентного вмісту обраних молотильних тіл у навантаженні. Це дозволяє виконати правильний вибір первинного кульового навантаження млина, який необхідно підтвердити експериментальною перевіркою щодо забезпечення максимальної продуктивності за готовим продуктом.

Ключові слова: різномірне кульове навантаження; ідеалізована, початкова, сумарна характеристики; моделювання

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-8-14

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Проблемою гірничо-видобувних галузей є завищена собівартість залізного концентрату в наслідок значних перевитрат електроенергії, куль і футеровки, особливо в перших стадіях подрібнення руди. На цю проблему постійно звертається увага в Урядових документах, її розробляють наукові колективи. Зокрема, вона знаходить відображення і в науковій тематиці Центральноукраїнського національного технічного університету у вигляді держбюджетних тем «Оптимізація продуктивності кульових млинів по руді і готовому продукту при мінімальних енергетичних і матеріальних перевитратах» (0115U003942), «Комп'ютеризована система ідентифікації завантаження кульового млина при управлінні подрібненням руди» (0109U007939). Однією з важливих причин такого положення є неоптимальність і нестабільність кульового навантаження в млинах першої стадії подрібнення руди. Оскільки ця задача не розв'язана, тема даної статті є актуальною.

Аналіз досліджень і публікацій. Покращенням показників роботи першої стадії подрібнення займалися давно як в нашій країні, так і за кордоном в основному автоматизацією технологічних процесів, що видно, наприклад, з наукових праць [1-7], однак така робота продовжується і в теперішній час. Наприклад, в роботі [8] показано, що автоматизація першої стадії подрібнення, класифікації і магнітної сепарації є реальним шляхом підвищення ефективності збагачення залізних руд. В роботі [9] вказано на відсутність надійних засобів контролю необхідної точності та значну їх вартість. Ефективні ультразвукові інформаційні засоби [10], створені в останні роки, можуть вимірювати крупність руди та інші технологічні параметри. Не дивлячись на це, не вдалося ефективно розв'язати задачу стабілізації роботи кульового навантаження млина. Розвивався також і практичний підхід стабілізації кульового навантаження млинів. Доведено, що найвищу продуктивність кульового млина можливо досягти при заповненні барабана кулями на 50% [11]. Встановлено, що суміш куль різного розміру більш продуктивна порівняно з однаковими тілами. Вона забезпечує на 10...15% більш високу продуктивність [12]. Рахують, що існує оптимальна характеристика крупності кульової суміші, що забезпечує максимальну продуктивність. Максимальний розмір молотильних тіл і характеристику їх крупності уточнюють експериментальним шляхом [5]. Є приклади підбору суміші куль для конкретних технологічних агрегатів, умов їх роботи і матеріалу [11, 13, 14]. Якщо забезпечити стабілізацію оптимального кульового навантаження, то у країнах з розвинутою гірничо-видобувною промисловістю можливо економити мільярди грошових одиниць на рік [15]. Однак нині теоретично не розроблені прийоми визначення початкової оптимальної характеристики крупності куль, її стабілізації в процесі роботи шляхом додавання нових молотильних тіл на зміну спрацьованим.

Постановка завдання. Метою роботи є математичне моделювання різномірного кульового навантаження млина першої стадії подрібнення руди для удосконалення механізму впливу на сумарні характеристики при досягненні його оптимального раціонального значення, що забезпечує найвищу продуктивність.

Викладення матеріалу та результати. При подрібненні руди в кульових млинах спрацювують як кулі, так і футеровка. Кулі спрацювують більш інтенсивно порівняно з футеровкою, тому її замінюють наближено один раз у півроку, а молотильні тіла додають у млин в процесі роботи. Спрацювання молотильних тіл залежить від ряду факторів – подрібнюваного матеріалу, матеріалу та способу виготовлення, розмірів, маси куль, швидкості обертання барабана, характеристики подрібнюваного матеріалу, типу футеровки, густини пульпи та інше. Втрата матеріалу в кулях відбувається в основному за рахунок стирання їх поверхні, що приводить до зменшення діаметра. Практикою встановлено, що спрацювання куль пропорційне витраті корисної енергії, яка споживається кульовим млином. Однак інколи спрацювання куль відносять і до тони подрібненої руди. Цей показник достатньо ефективний за умов незмінності технологічного різнотипу руди і її характеристики крупності.

Відомо кілька гіпотез закономірності спрацювання куль у млинах, які узагальнив К.О. Разумов [11], запропонувавши швидкість спрацювання куль визначати відповідно рівнянню

$$\frac{dG}{dt} = -kD_k^m, \quad (1)$$

де G – початкова маса кулі, кг; k – коефіцієнт пропорційності; t – тривалість спрацювання; D_k – початковий діаметр кулі, см; m – величина, що змінюється в залежності від режиму роботи млина в межах 2...3.

У залежності (1) $m=2$ при каскадному режимі роботи, що відповідає спрацюванню поверхні. У водоспадному режимі $m=3$, оскільки спрацювання куль відбувається пропорційно їх масі. У змішаних режимах роботи показник m приймає значення дещо більші 2 і дещо менші 3.

З рівняння (1) слідує, що при початковому завантаженні млина молотильним середовищем одного розміру і в процесі роботи довантаженні його тілами того ж розміру, після спрацювання початкового молотильного навантаження в технологічному агрегаті створиться суміш куль різних розмірів, склад яких відповідає закономірності їх спрацювання. Цей склад молотильних тіл зберігається незмінним в процесі роботи млина, але в ньому переважають крупні кулі. Тому така характеристика кульового навантаження не забезпечує оптимальної продуктивності [16].

Відповідно (1) можливо для характеристики кульового навантаження за плюс D записати рівняння [11]

$$Z = 100 \cdot \frac{D_k^n - D^n}{D_k^n}, \quad \% \quad (2)$$

де Z – вихід куль певного розміру; D_k – максимальний діаметр кулі; D – діаметр кулі, що розглядається.

У рівнянні (2) $D < D_k$, $n=6-m$ [11]. Цю залежність використовують для побудови характеристики крупності молотильного середовища після зносу початкового навантаження кульового млина.

Відомо, що для кожної крупності матеріалу з певною подрібнюваністю можливо підібрати характеристику крупності кульової суміші, яка забезпечує найбільш високу продуктивність млина. Це здійснюють дослідним шляхом, однак нині накопичені і певні практичні рекомендації щодо створення таких кульових навантажень. В останні роки склалася тенденція більш дрібно подрібнювати руду в дробильному відділенні збагачувальної фабрики і в кульові млини подавати матеріал крупністю близько 13 мм. Наприклад, на одній з вітчизняних збагачувальних фабрик вихідна руда має середньозважену крупність 10,10 мм, 9,74 мм, 7,97 мм, 8,51 мм [17]. Експериментально встановлено [11] оптимальне раціональне початкове значення кульового навантаження при подрібненні твердої руди крупністю 13 мм до 0,2...0,3 мм у наступному ваговому складі: кулі 90 мм (32%), 75 мм (27%), 65 мм (23%), 50 мм (18%). Це кульове навантаження можливо прийняти як оптимальне і при подрібненні руди вказаних розмірів у кульовому млині МШЦ 4,5×6,0.

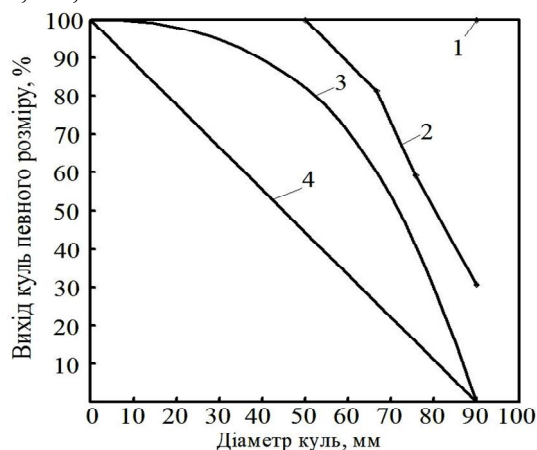


Рис.1. Проміжні характеристики крупності кульового навантаження млина: 1 – при крупності 90 мм; 2 – початкового навантаження з куль чотирьох розмірів; 3 – усталеного навантаження при повному спрацюванні початково завантажених куль максимального розміру; 4 – ідеалізована сумарна, до якої прагне характеристика 2 при повному спрацюванні різнорозмірного початкового навантаження

Вказана характеристика крупності кульового навантаження млина забезпечує найбільшу продуктивність при даних розмірах молотильних тіл, тобто без спрацювання. В процесі роботи кулі усіх розмірів будуть спрацьовуватися, а характеристика змінюватися. Порівняємо її з більш простим випадком, коли кульове навантаження складене з однакових

максимальних куль 90 мм. Характеристика крупності такого кульового навантаження буде подана точкою 1 на рис.1, а оптимального змішаного – графіком 2. Якщо однорозмірне вихідне кульове навантаження, поповнюючись такими ж кулями 90 мм, повністю спрацюється, характеристику крупності молотильного середовища млина можливо визначати відповідно залежності (2). Вона, розрахована за виразом (2), зображена на рис.1 кривою 3. Дана характеристика є опуклою і достатньо добре схожа на характеристику 2, притаманну початковому оптимальному кульовому навантаженню. Як стверджує Д.К. Крюков [16], характеристика 3 не забезпечує оптимальних показників кульового млина, оскільки в такому молотильному середовищі не вистачає дрібних і середніх куль. Ідеалізована характеристика 4, що з'єднує граничні точки залежності 3, відповідає оптимальному складу кульового навантаження, оскільки відрізняється рівномірним

вмістом куль від самих дрібних до самих крупних. Виходячи зі сказаного, характеристика 2, що відповідає оптимальному складу куль, також не забезпечує найкращих показників роботи кульового млина. При спрацюванні вихідного різнорозмірного кульового навантаження і його компенсації кулями такого ж розміру, характеристика 2 своїми кінцями примкне до точок з граничними крупностями. Далі, досягнувши усталеної крупності за складом куль, вона займе наближене до характеристики 4 місце.

Кульові млини можуть працювати у каскадному, водоспадному та змішаних режимах роботи, що визначається показником m в залежності (2). Збільшимо максимальне значення розміру кулі до 100 мм і відповідно (2) побудуємо характеристики крупності усталеного кульового навантаження, показані на рис.2, при різних режимах роботи технологічного агрегату. З'єднавши граничні точки залежностей між собою, отримаємо ідеалізовану усталену характеристику 7 кульового навантаження. Порівнюючи характеристику 4 (рис.1) і характеристику 7 (рис.2), помічаємо, що друга характеристика 7 більш похила і має більш широкий діапазон зміни крупності куль. Характеристики 1-6 (рис.2) – опуклі, в них переважають крупні кулі. Вони суттєво віддалені від ідеалізованої характеристики 7, однак характеристика 6 водоспадного режиму є найбільш наближеною. Тобто, при виборі характеристики кульового навантаження необхідно враховувати режим роботи млина. З іншого боку, збільшення максимального діаметра кулі дозволяє змінювати нахил ідеалізованої характеристики крупності і по можливості забезпечувати більш широкий набір розмірів молотильних тіл. При виборі складу куль, що претендує на оптимальний раціональний, необхідно характеристику розпочинати з максимального розміру кулі та розташовувати її практично паралельно ідеалізованій та реальній характеристиці, що відповідає обраному режиму роботи.

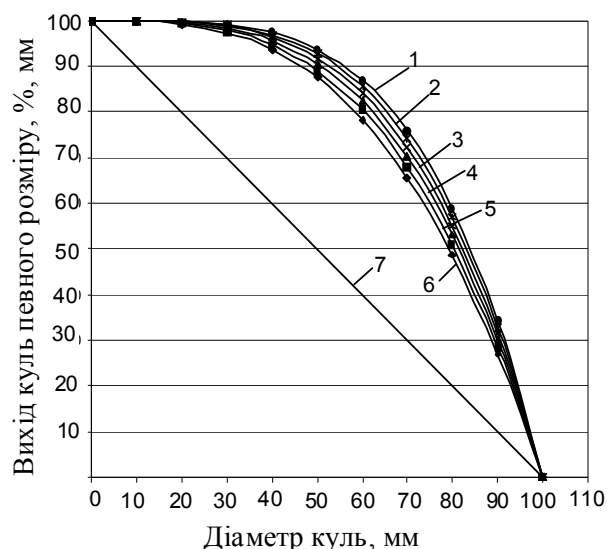


Рис.2. Характеристики крупності усталеного кульового навантаження млина при початковому завантаженні кулями максимального розміру 100 мм в різних режимах роботи при: 1 – $m=2$ (каскадний); 2 – $m=2,2$; 3 – $m=2,4$; 4 – $m=2,6$; 5 – $m=2,8$ (змішаний); 6 – $m=3$ (водоспадний); 7 – ідеалізована характеристика крупності

Результуюча характеристика змішаного кульового навантаження є наслідком часткових характеристик окремих куль відповідно їх розмірам. Такі характеристики визначаються виразом (2). Оскільки вони залежать від показника m , то будуть дещо відрізнятися при різних режимах роботи кульового млина. Ці часткові характеристики дозволяють отримати сумарну характеристику крупності, що характеризує все кульове навантаження млина в усталеному режимі роботи, коли

початкові молотильні тіла повністю зносяться. Дослідимо отримання усталеного кульового навантаження на прикладі кульового млина МШЦ 4,5×6,0, який має робочий об'єм 81 м³ і працює у водоспадному режимі. При 50% заповненні барабана об'єм, зайнятий молотильним середовищем, складає 40,5 м³, а безпосередньо кулями при різних розмірах – 0,62 загального простору, тобто 25,11 м³. Об'ємна вага сталевих куль в даному випадку дорівнює 4,8 т/м³, а маса кульового навантаження у млині – 194,4 т. Дана маса куль в усталеному режимі розподіляється відповідно початковому завантаженню. Тоді кулі, які відповідають найбільшому розміру 90 мм, мають масу 62,2 т, діаметр яких дорівнює 75 мм – 52,5 т, 65 мм – 44,7 т, 50 мм – 35,0 т.

Відповідно оптимальному раціональному складу куль з розмірами 90, 75, 65 і 50 мм за (2) побудовані частинні характеристики крупності усталеного кульового навантаження млина, які дозволяють визначити відносний склад куль за розміром у процентах, що відповідає кожному типу молотильних тіл. За розрахунками за (2) знайдено відносний склад куль відносно кожного їх розміру у сумарному навантаженні, що дозволяє отримати сумарну характеристику крупності усталеного кульового навантаження технологічного агрегату.

Сумарна характеристика крупності куль в усталеному навантаженні млина показана на

рис.3 (крива 2). Ідеалізована характеристика крупності кульового навантаження на цьому ж рисунку показана прямою 1. З рис.3 видно, що характеристика 2 має S-подібну форму і розташована відносно ідеалізованої характеристики 1. Прямолінійна характеристика 1 відповідає рівномірній крупності молотильних тіл у складі навантаження технологічного агрегату. Опукла ділянка характеристики 2 свідчить про те, що в розмірі куль від 0 до 65 мм переважають більш крупні тіла. Увігнута ділянка характеристики 2 підкреслює переважання в кульовому навантаженні 65...90 мм більш дрібних куль. Як видно з рис.3, відмічені ділянки є несиметричні з перевагою на більш крупні тіла.

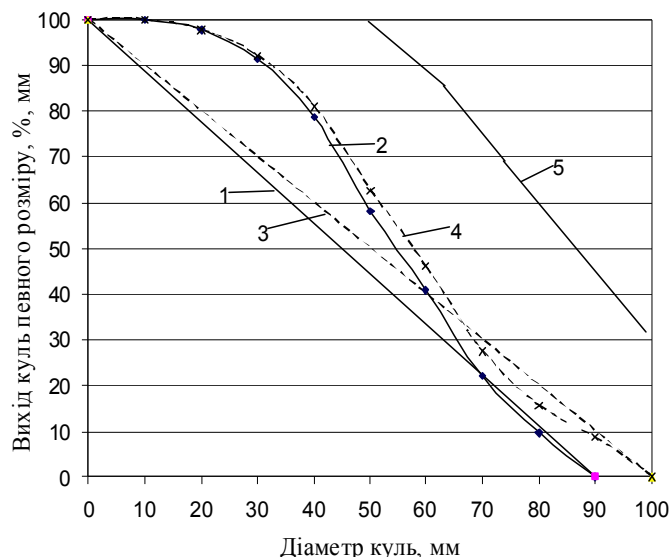


Рис.3. Характеристики крупності кульового навантаження млина при змішаному розмірі молотильних тіл: 1 – ідеалізована при максимальному діаметрі кулі 90 мм; 2 – сумарна, що відповідає кульовому навантаженню з максимальним діаметром 90 мм, яке забезпечує найкращу продуктивність; 3 – ідеалізована при максимальному діаметрі кулі 100 мм; 4 – сумарна, що відповідає більш крупному складу молотильного середовища; 5 – початкова характеристика кульового навантаження млина при збільшеній до 100 мм крупності куль

ром 75 мм – 35%, діаметром 65 мм – 18%, діаметром 50 мм – 15%. Тоді загальна маса куль $194,4 \cdot 10^3$ кг розподілиться наступним чином: кулі 100 мм – $62,21 \cdot 10^3$ кг, 75 мм – $68,04 \cdot 10^3$ кг, 65 мм – $34,99 \cdot 10^3$ кг, 50 мм – $29,16 \cdot 10^3$ кг. Дані складу куль у навантаженні млина в усталеному режимі роботи молотильного середовища при більших початкових розмірах визначені за формулою (2). Характеристика крупності усталеного кульового навантаження наведена на рис.3 (крива 4), де також показана ідеалізована характеристика 3, що відповідає кульовому навантаженню зі збільшеною до 100 мм величиною крупних куль. В діапазоні зміни розміру куль 0...65 мм (крива 4) переважають більш крупні молотильні тіла, а в діапазоні 65...100 мм – більш дрібні. В цілому S-подібна характеристика 4 стає більш рівномірною. Тому такий усталений склад куль може виявитися більш ефективним в певних умовах подрібнення руди. Як видно, характеристика 4 усталеного кульового навантаження млина відповідає початковій характеристиці 5 кульового навантаження.

Порівнюючи рис. 1 і рис. 3, робимо висновок, що початкові характеристики 2 (рис.1) і 5 (рис.3) визначають характер сумарних характеристик 2 і 4 (рис.3). Тому, змінюючи положення початкових характеристик кульового навантаження млина, можливо визначати сумарні характеристики, а провівши промислові випробування – ефективність подрібнення певного технологічного різнотипну руди.

Вибір початкових характеристик кульового навантаження млина відрізняється широкими можливостями. Перш за все враховують режим роботи технологічного агрегату, оскільки його визначено першочергово і він впливає на характеристики крупності, що характеризують усталене кульове навантаження млина, які дещо змінюються, як це видно з рис.4. Характеристики крупності розглядалися при чотирьох початкових розмірах куль, однак їх можливо брати і більше, як показано на рис.4. Нині формується на практиці тенденція збільшення максимального розміру куль навіть до 120 мм. Більше п'яти початкових розмірів куль не використовують. Значні можливості криються і в процентному складі початкового навантаження молотильного середовища. Як видно, ці заходи в широких межах можуть змінювати положення і форму сумарної характеристики усталеного кульового навантаження млина. Залишається лише експериментально перевіркою встановити найкращий вид характеристики, що забезпечує максимальну продуктивність технологічного агрегату за готовим продуктом.

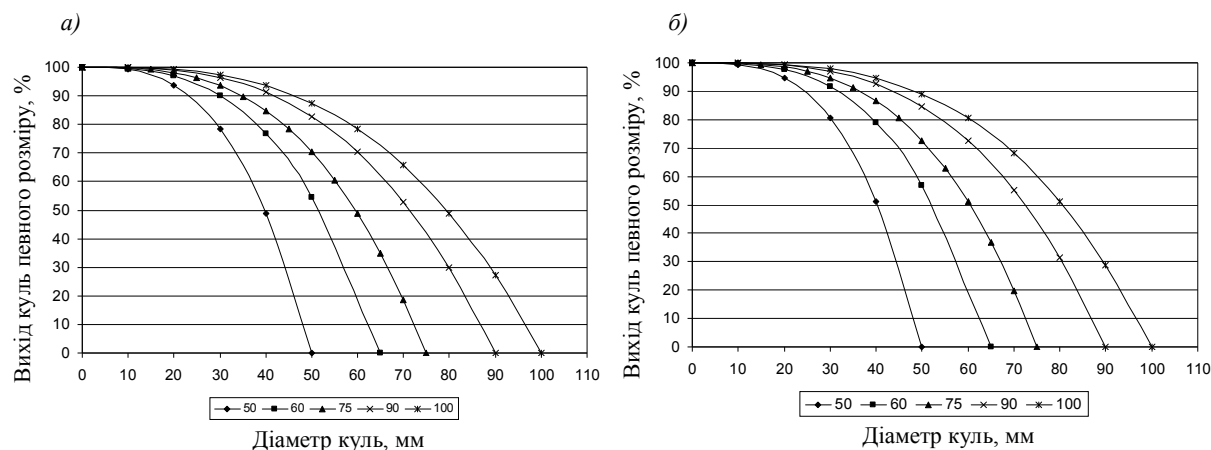


Рис.4. Характеристики крупності, що характеризують усталене кульове навантаження млина у водоспадному режимі (а) і змішаному режимі роботи млина (б) при $m=2,8$

Висновки та напрямок подальших досліджень. В роботі на основі відомої теоретичної залежності К.О. Разумова щодо швидкості спрацювання куль в млинах, виразу для характеристики кульового навантаження та даних практичного досвіду виконано математичне моделювання сумарних характеристик крупності усталеного оптимального раціонального кульового навантаження млина при змішаному розмірі молотильних тіл.

Встановлено, що при виборі характеристики кульового навантаження необхідно враховувати режим роботи млина. Характеристики крупності розглядалися при чотирьох початкових розмірах куль, однак їх можливо брати і більше. Більше п'яти початкових розмірів куль на практиці не використовують. При виборі складу куль, що претендує на оптимальний раціональний, необхідно характеристику розпочинати з максимального розміру кулі та розташовувати її практично паралельно ідеалізованій та реальній характеристиці, що відповідає обраному режиму роботи. Початкові характеристики визначають характер сумарних характеристик. Рівномірність розташування S-подібних сумарних характеристик відносно ідеалізованих залежать від положення останніх. Змінюючи положення початкових характеристик кульового навантаження млина, можливо впливати на сумарні характеристики. Вибір початкових характеристик кульового навантаження млина відрізняється широкими можливостями. На них можливо впливати вибором максимального розміру кулі у кульовому навантаженні, кількості обраних куль та процентного вмісту обраних молотильних тіл у навантаженні. Це дозволяє виконати правильний вибір первинного кульового навантаження млина, який необхідно підтвердити експериментальною перевіркою щодо забезпечення максимальної продуктивності за готовим продуктом.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що удосконалено механізм впливу на сумарні характеристики різнорозмірного кульового навантаження млина, що дає можливість більш ефективно досягати його оптимального раціонального значення, яке забезпечує найвищу продуктивність технологічного агрегату за готовим продуктом.

Практична цінність роботи полягає в тому, що відкривається перспектива більш швидкого отримання обґрунтованої за параметрами сумарної характеристики кульового навантаження і спрощення вартісних експериментальних досліджень щодо підтвердження забезпечення максимальної продуктивності технологічного агрегату за готовим продуктом.

Перспективою подальших досліджень є розробка підходів отримання ідеалізованої характеристики кульового навантаження млина, яка б при певній початковій характеристиці кульового навантаження забезпечувала б найкраще сходження сумарної та ідеалізованої характеристик.

Список літератури

1. Марюта А.Н. Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнитообогатительных фабриках / Марюта А.Н. – М.: Недра, 1987. – 230 с.
2. Моркун В.С. Адаптивные системы оптимального управления технологическими процессами / В.С. Моркун, А.А. Цокурено, И.А. Луценко. – Кривий Ріг: Минерал, 2005. – 261 с.
3. Поркуян О.В. Керування нелінійними динамічними об'єктами збагачувальних виробництв на основі гібридних моделей Гамерштейна: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт.техн.наук: спец. 05.13.07 «Автоматизація процесів керування» / О.В. Поркуян. – Кривий Ріг, 2009. – 36 с.

4. **Моркун Н.В.** Розподілене оптимальне керування взаємопов'язаними процесами збагачувального виробництва на основі динамічної просторово-часової моделі: дис. ... доктора техн.наук: спец. 05.13.07 «Автоматизація процесів керування» / **Моркун Наталія Володимирівна**. – Кривий Ріг, 2017. – 357 с.
5. Измельчение. Энергетика и технология / [Пивняк Г.Г., Вайсберг Л.А., Кириченко В.И. и др.]. – М.: Изд. дом «Руда и Металлы», 2007. – 296 с.
6. **Линч А. Дж.** Циклы дробления и измельчения / **Линч А. Дж.**: [пер. с англ.]. – М.: Недра, 1981. – 342с.
7. Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых / [Морозов В.В., Топчаев В.П., Улитенко К.Я. и др.]. – М.: Изд. дом «Руда и Металлы», 2013. – 512 с.
8. **Азарян А.А.** Автоматизация первой стадии измельчения, классификации и магнитной сепарации – реальный путь повышения эффективности обогащения железных руд / **А.А. Азарян, Ю.Ю. Кривенко, В.Г. Кучер** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2014. – Вип.36. – С.276-280.
9. **Купін А.І.** Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології / **Купін А.І.** – Кривий Ріг: Видавництво КТУ, 2008. – 204с.
10. Ультразвуковой контроль характеристик измельченных материалов в АСУ ТП обогатительного производства / [Моркун В.С., Потапов В.Н., Моркун Н.В., Подгородецкий Н.С.]. – Кривой Рог: Изд. центр КТУ, 2007. – 283 с.
11. **Андреев С.Е.** Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / **С.Е. Андреев, В.В. Зверевич, В.А. Перов**. – М.: Недра, 1966. – 396 с.
12. **Баатархуд Ж.** Об одном из путей интенсификации процесса измельчения в шаровых мельницах МШЦ-5500х6500 на комбинате «ЭРДЭНЭТ» / **Ж. Баатархуд, Г. Даваацэрэн, Л.Ф. Биленко** // Обогащение руд. – 2000. – №3. – С. 3-5.
13. **Голышев Л.В.** Метод формирования шаровой загрузки барабанной мельницы / **Л.В. Голышев, Т.Ю. Кравец** // Энергетик. – 2014. – №11. – С. 54-55.
14. **Qingfei X.** Optimization study to the ratio of primeval ball loading in $\phi 4.0 \times 6.0$ m overflow ball mill of Yingezhuang Gold Mine / **Qingfei X., Huaibin K., Bo L., Chunmei L.** // AASRJ Procedia. – 2014. – №7. – pp. 14-19.
15. **Яценко А.А.** О повышении эффективности работы шаровых мельниц на основе использования комбинированной мелющей загрузки / **Яценко А.А.** // Обогащение руд. – 2011. – №3. – С.3-5.
16. **Крюков Д.К.** Футеровки шаровых мельниц / **Крюков Д.К.** – М.: Машиностроение, 1965. – 183 с.
17. **Мацуї А.М.** Моделювання середньозваженої крупності твердого в завантаженні кульового млина рудою і пісками класифікатора / **А.М. Мацуї, В.О. Кондратець** // Математичне моделювання. – 2017. – №1 (36). – С. 59-66.

Рукопис подано до редакції 04.04.2018

УДК 622.831

О.В. СОЛОДЯНКІН, д-р техн. наук, проф., І.В. ДУДКА, канд. техн. наук,
О.Є. ГРИГОР'ЄВ, канд. техн. наук, доц., О.А. СОЛОДЯНКІНА, наук. співробітник,
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

ВДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ВИМІРЮВАНЬ У ВИРОБКАХ З МЕТАЛЕВИМ АРОЧНИМ КРІПЛЕННЯМ

Мета. Метою роботи є вдосконалення традиційної методики проведення натурних вимірювань в шахтних умовах, що дозволяє зменшити трудомісткість операцій, підвищує безпеку виконання робіт та точність визначення поточних геометричних параметрів металевих арочних кріплень.

Методи дослідження. Розглянуті методики шахтних досліджень, що використовують для комплексної оцінки стану гірничої виробки, приконтурного масиву порід, деформацій металевих арочних кріплень та напрямки їх вдосконалення. Для визначення переваг методик та приладів, що застосовують при проведенні шахтних досліджень, використані методи узагальнення, аналізу та оцінки їх організаційних та технологічних показників.

Наукова новизна. Запропонована спрощена методика визначення площі поперечного перерізу виробки для дослідження закономірностей зміни її величини у часі або за довжиною виробки під впливом зовнішніх навантажень.

Практична значимість. Запропонований комплекс обладнання, новий пристрій та технологія проведення вимірів у виробці дозволяють підвищити безпеку виконання робіт, збільшують точність вимірювань, істотно зменшують їх трудомісткість, дають можливість виконання вимірів однією людиною. Аналіз отриманих результатів дозволяє об'єктивно оцінити поточний стан металевих кріплень виробки, оперативно визначити причини та ступінь її деформації, обґрунтувати раціональні способи підвищення стійкості виробок, закріплених металевим або рамно-анкерним кріпленням.

Результати. Розроблений пристрій для виміру геометричних параметрів внутрішнього контуру виробки та удосконалена методика проведення інструментальних вимірювань для виробок з металевим арочним кріпленням. Запропонована спрощена методика визначення поточного поперечного перерізу виробки з металевим арочним кріпленням. Виконана оцінка методів проведення шахтних інструментальних досліджень за різними параметрами. Визначені їх недоліки і переваги. Наведені результати шахтних випробувань запропонованого пристрою та методики проведення натурних досліджень. За результатами комплексу виконаних робіт отриманий патент на корисну модель,

що є підтвердженням технічної новизни запропонованого рішення.

Ключові слова: шахтні дослідження, металеве кріплення, рамно-анкерне кріплення, далекомір, лазерний рівень

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-14-20

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Вихідними даними при вивченні деформаційних процесів в масиві гірських порід і при розробці засобів і способів підвищення стійкості виробок завжди були результати натурних вимірювань. При цьому, отримання даних про стан масиву порід або деформацій кріплення є складним, трудомістким процесом, а самі результати не завжди достовірні, що викликано специфікою проведення вимірювань в діючій виробці при наявності в ній експлуатаційного обладнання. Тому вдосконалення методики проведення шахтних досліджень в підземних виробках завжди було пов'язане, по-перше, зі зменшенням трудомісткості виконання вимірювань і, по-друге, з підвищенням точності отриманих результатів.

Аналіз досліджень і публікацій. Найпростішим способом оцінки стану виробки, визначення наявності зміщень на контурі виробки, виявлення характерних типів деформацій порід та елементів кріплення є візуальний, головним недоліком якого вважається неможливість отримання кількісних характеристик проявів гірського тиску. Втім саме він використовується під час визначення необхідності застосування інших, більш досконаліших способів натурних досліджень та місць встановлення замірних станцій. На таких станціях, які поділяються на замірні пункти, зазвичай виконується вимірювання ширини виробки, її висоти, величина нахлесту елементів у замках податливості тощо. Результати комплексу вимірювань, що виконуються з певною частотою, дають можливість визначити напрям дії сил тиску з боку гірського масиву і в першому наближенні динаміку зміщень контуру.

Кінцевим результатом таких інструментальних досліджень є встановлення закономірностей зміщень внутрішнього контуру виробки у часі (або по довжині виробки), а саме – зміщення характерних точок, обраних на металевому кріпленні: на середині верхняка, стійках, підшви виробки. Причому, в процесі спостережень, більш інформативними показниками є зміна не поточних висоти H та ширини B виробки, а їх складових, тобто h_1 , що характеризує деформацію (вигин) верхняка, або податливість металевих кріплень; h_2 , що описує таке негативне явище, як здимання порід підшви; b_1 , b_2 , що характеризують зміщення бокових елементів. Схема вимірів у виробці, закріпленій металевим аروحним кріпленням з визначеними параметрами наведена на рис. 1. Відповідно до цієї схеми, визначення складових h_1 і h_2 потребує введення так званого «горизонту вимірювання». Таким горизонтом зазвичай слугує шнур який горизонтально натягують між умовно нерухомими точками боків виробки. Так само, але з використанням виски, виконуються вимірювання горизонтальних розмірів виробки: b_1 , b_2 .

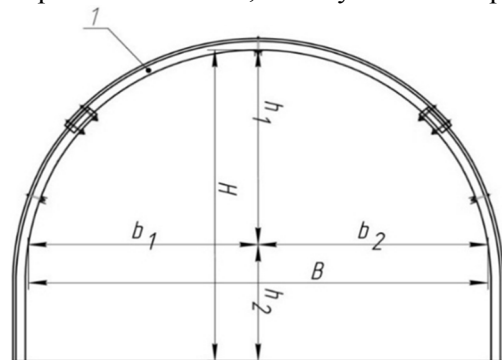


Рис. 1. Схема проведення замірів та геометричні параметри, що вимірюють

Традиційна методика проведення досліджень деформаційних процесів в породному масиві навколо виробки, яка закріплена рамним металевим кріпленням, передбачає періодичні вимірювання зміщень внутрішнього контуру кріплення і підшви виробки. Вимірювання параметрів зазвичай виконуються за допомогою простих інструментів і приладів (рулетка ВНДМІ, висок, стійки СУ-2 тощо) [1]. Цією методикою з деякими змінами, які викликані

особливостями умов виконання і потрібною точністю робіт, здійснюється більшість вимірювань. Так, наприклад, в роботах [2-6], які виконувались останніми роками, наведені результати вимірювань на вугільних шахтах саме за цією методикою. Її безумовною перевагою є простота і відносно низька трудомісткість досліджень. До недоліків цієї методики слід віднести необхідність фіксації вимірювальних приладів та інструментів (шнура) одночасно на протилежних боках виробки (кріплення), що ускладнює процес отримання результатів, а у виробках зі стрічковим конвеєром унеможливує заміри під час його роботи. Додатковим обмеженням є необхідність виконання робіт принаймні двома дослідниками. Втім для вивчення геомеханічних процесів

навколо виробки, ця методика за точністю і якістю результатів в цілому задовольняє більшості вимог дослідників.

Більш зручним при проведенні замірів є пристрій для дослідження деформацій кріплення гірничих виробок, описаний в [7]. Порядок виконання замірів полягає в нанесенні фарбою міток на стійках і верхняках кріплення, після чого вимірювання виконуються за допомогою лазерного далекоміра. До однієї з міток на стійці прикладають далекомір з подальшим наведенням лазерного променя на протилежну мітку з вимірюванням відстані до неї. Забір висоти виробки здійснюється від шнура, натягнутого між мітками на протилежних стійках, до мітки на верхняку, і від шнура до підшви. Недоліком даної методики, як і описаної вище, є те, що при проведенні вимірювань в вертикальній площині, необхідно облаштування горизонтального рівня за допомогою шнура, який потребує фіксації одночасно на протилежних сторонах виробки (кріплення). Наявність у виробці обладнання, наприклад, стрічкового конвеєра, ускладнює проведення цієї операції.

Слід зазначити, що використання лазерного рівня та далекоміра для шахтних досліджень пропонується і в наступних пристроях. Але ці рішення мають дещо іншу область використання і можливості.

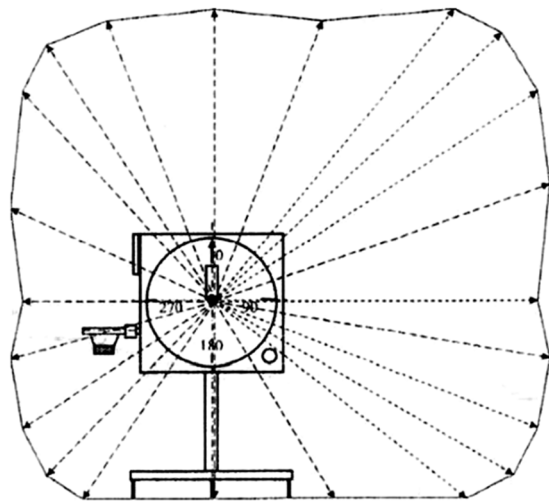


Рис. 2. Пристрій для зйомки перерізів камерних виробок

Так, пристрій [8] (далі А-1) (рис. 2) використовують для визначення площі горизонтального або вертикального перерізу камерних виробок, що мають незакріплене породне оголення (без металевих рамних чи будь-якого іншого кріплення). Можливим також (на наш погляд) є його використання для визначення площі перерізу виробок, закріплених суцільним (наприклад, бетонним, набризкбетонним) кріпленням, що в описі до приладу не зазначено.

І, що принципово важливо, про що свідчить схема замірів на рис. 2, виробка має бути без обладнання (конвеєр, перевантажувач тощо), яке є перешкодою для зйомки перерізів. За наявності

такого обладнання пристрій А-1, навіть для заміру ширини виробки, повинен бути укомплектований стійками різної висоти або мати телескопічну стійку, що в його конструкції не передбачено.

Крім того, пристрій А-1 використовує підшву виробки як опорну поверхню для основи стійки. У виробці, що експлуатується та знаходиться під впливом інтенсивного гірничого тиску, зробити це досить важко, а величина похибки від неточного встановлення приладу може перевищувати зміщення контуру виробки, що вимірюється. Повторне встановлення цього пристрою через якийсь проміжок часу на ту ж замірну точку неможливий. До того ж, визначити, які саме зміщення (покривлі чи підшви) призвели до зменшення висоти виробки, дуже складно.

Використання приладу А-1 також є неможливим внаслідок дефектів та деформацій металевих рамних кріплень при його зведенні або експлуатації у складних умовах навантаження, коли елементи кріплення (верхняк, протилежні стійки) розташовані не в одній площині.

Отже, розглянутий прилад має складну конструкцію та правила користування і не дозволяє проведення достовірних спостережень у виробках, закріплених металевим аромним кріпленням з визначенням змін геометричних параметрів у часі, або за довжиною виробки.

Також відомий з'єднувач для лазерного рівня [9] (далі – А-2) (рис. 3). Проведення вимірів з використанням пристрою А-2 не передбачає комплексного використання лазерного далекоміра, рулетки та інших інструментів, необхідних для визначення зміщень елементів металевих кріплень та підшви виробки. Крім того, з'єднувач А-2 надто простий, може закріплюватися тільки на плоских елементах конструкцій, а його функціональність обмежена встановленням саме горизонтального рівня. За конструктивними характеристиками він не може бути надійно закріплений на спеціальному взаємозамінному профілі СВІП металевих рамних кріплень.

Крім того, при використанні суцільної затяжки (наприклад, залізобетонної) це не можливо зробити взагалі, оскільки остання достатньо щільно прилягає до металевого профілю, закриваючи елементи, на яких можна закріпити струбцину з'єднувача.

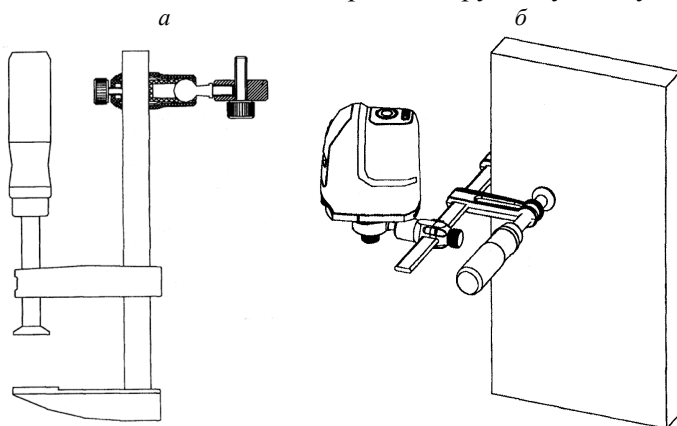


Рис. 3. З'єднувач для лазерного рівня (а) та спосіб його застосування (б)

Суттєво більше довершеною є методика, яка передбачає використання маркшейдерських оптичних засобів вимірювань і дозволяє отримувати надточні результати натурних досліджень [10] не лише завдяки обладнанню, що використовується, але й передбаченому процедурою перенесенню у підземні виробки координат нерухомих пунктів з поверхні. Недоліком її є потрібність додаткового

точного обладнання, суттєвий час на прокладання шляху нівелювання, складність цього процесу і, знову ж таки, необхідність виконання робіт принаймні двома виконавцями.

Постановка задачі. Метою досліджень, результати яких наведені у статті, є вдосконалення методики проведення натурних вимірювань, що дозволить зменшити трудомісткість операцій та підвищити точність визначення геометричних параметрів металевих арок кріплення.

Викладення матеріалу та результати. Удосконалення методики проведення натурних досліджень виконано за рахунок введення нових елементів, пристроїв і приладів, а також такого їх розташування, завдяки чому можливий швидкий, зручний та менш трудомісткий вимір геометричних параметрів кріплення з високою точністю.

Пристрій складається з блоку кріплення, шарнірно з'єднаним з ним майданчиком, на якому розташовані на одному рівні лазерний далекомір і лазерний рівень, з можливістю вимірювання висоти виробки від горизонтально спроектованого променя як «горизонту вимірювання».

Схема вимірювального пункту у виробці зі встановленим пристроєм та інструментами показана на рис. 4. Параметри поперечного перерізу металевих кріплень виробки, які вимірюються за допомогою запропонованого пристрою, наведені на рис. 1. Конструкція вимірювального пристрою і схема його закріплення на стійці металевих кріплень показана на рис. 5 і 6.

Кріплення пристрою (див. рис. 4-6) з можливістю розсування 7, фіксується на заданому рівні на металевій стійці шахтного кріплення 8 за допомогою затискного гвинта 9. Майданчик 11, який з'єднаний з кріпленням 7 шарніром 10 присувається до стійки 8 і вирівнюється за рівнем. Лазерним далекоміром 12, який розташований на майданчику 11, вимірюється ширина виробки B , як відстань до протилежної стійки. За допомогою телескопічного подовжувача 2 і магніту 3, до верхняк кріплення підвішується вимірювальна стрічкова рулетка 4, за допомогою якої вимірюється висота виробки H . Висоту від горизонту виміру до верхняка h_1 знаходимо за допомогою лазерного рівня 13, розташованого на майданчику 11, горизонталь якого відсвічується на стрічці рулетки 4. Напіввисота від горизонту виміру до підшови обчислюється: $h_2 = H - h_1$. Далі стрічкова рулетка 4 використовується в якості виска завдяки закріпленню на вільному нижньому кінці магнітів-вантажів 5. Вимірюється одна напівширина виробки b_1 – від приладу до виска (рулетки) 4, а друга обчислюється: $b_2 = B - b_1$.

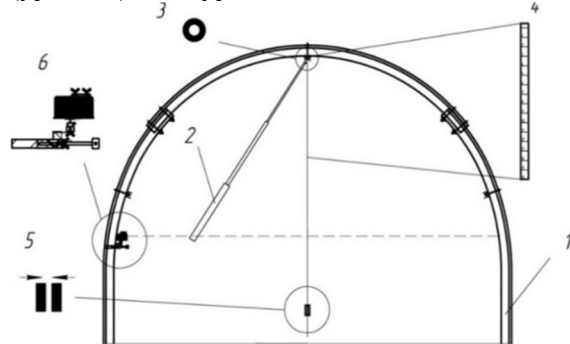


Рис. 4. Схема вимірювального пункту станції виміру та інструменти: 1 – металеве кріплення; 2 – телескопічний подовжувач для закріплення магніту в верхній точці кріплення; 3 – магніт для закріплення стрічки рулетки на кріпленні; 4 – стрічка рулетки; 5 – магніти-вантажі, закріплені на нижній точці стрічки рулетки; 6 – вимірювальний пристрій

Одним з основних переваг застосування даного пристрою є те, що вимірювання геометричних параметрів внутрішнього контуру кріплення здійснюється тільки в одній частині виробки без

переміщення через шахтне обладнання (конвеєр) в іншу. Крім того, пропонується пристрій дозволяє відмовитися від постійних висків та облаштування умовного горизонтального рівня за допомогою шнура, збільшує точність вимірювань. При наявності такого обладнання пристрій закріплюється на профілі бокової стійки на зручній висоті, що не перешкоджає проході променю приладів. До того ж, пристрій має незалежну точку закріплення і за допомогою лазерного рівня, встановлює «горизонт вимірювання». Точка встановлення приладу фіксується при першому його закріпленні на стійці кріплення (краскою, насічкою тощо), а при наступних замірах пристрій закріплюється на тому ж рівні. При цьому істотно зменшується трудомісткість виконання замірів, всі операції може виконувати одна людина.

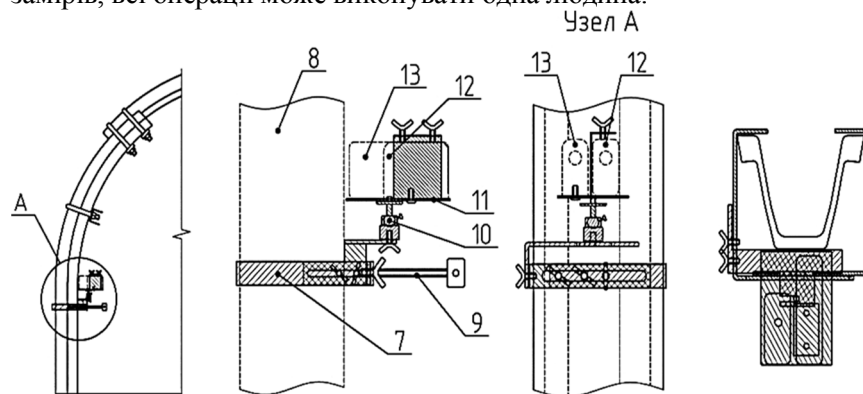


Рис. 5. Конструкція вимірювального пристрою і схема його закріплення на стійці металевих кріплень: 7 – кріплення (дві металеві скоби) з можливістю розсування і фіксації в залежності від типу СВП; 8 – стійка кріплення; 9 – затискний гвинт для фіксації пристрою на стійці кріплення; 10 – шарнір; 11 – майданчик; 12 – лазерний далекомір; 13 – лазерний рівень

Час на зняття необхідних параметрів по одній рамі кріплення становить 2...3 хвилини, що дозволяє за невеликий проміжок часу провести серію вимірів на значній ділянці виробки. Їх аналіз дозволить об'єктивно оцінити поточний стан металевих кріплень виробки, і, як наслідок, оперативно визначити ступінь її деформації.

Пристрій може бути встановлений на будь-якому типорозмірі профілю СВП. В його конструкції це передбачено за рахунок двох металевих скоб з можливістю їх розсування і фіксації на профілі СВП (див рис. 5), навіть при щільному приляганні залізобетонної затяжки.

Новизна запропонованого вимірювального пристрою підтверджена патентом на корисну модель [11]. Із застосуванням даної методики виконано комплекс досліджень, результати яких викладені в [12-14].



Рис. 6. Установка пристрою на стійці металевих кріплень

Область використання описаної методики може бути поширена й на виробки з рамно-анкерним кріпленням, або на рудні шахти, де наявність рамного кріплення суттєво обмежена, але використовуються суто анкерні системи кріплення. В цьому випадку обладнання закріплюється на нерухомих хвостових частинах анкерів. Відповідно для облаштування замірних пунктів виробок, де взагалі не використовуються кріплення (Запорізький та Криворізький залізорудні комбінати), потрібно встановлення анкерів, що при наявності обладнання для анкерування не є проблемою.

В ході шахтних досліджень, знаючи поточні значення висоти H і ширини B виробки, можна простежити за зміною її площі поперечного перерізу, яка визначається приблизно виходячи з таких міркувань.

З паспортного перерізу виробки відома її висота H_0 і ширина B_0 , а також перетин виробки у світлі $S_{св}$. За даними значеннями висоти і ширини можна визначити площу прямокутника $S_{прм} = B_0 \cdot H_0$, м², в який вписується розглянутий переріз виробки арочної форми $S_{св}$ (рис. 7).

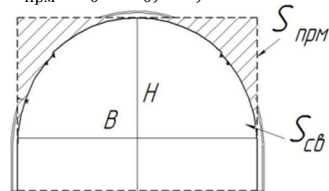


Рис. 7. Схема до визначення поправочного коефіцієнта для розрахунку перерізу виробки

Ставлення цих площ дасть поправочний коефіцієнт, який можна використовувати для визначення приблизної площі розглянутого поперечного перерізу штреку

$$k_S = S_{св} / S_{прм}. \quad (1)$$

Так, наприклад, для виробки перетином у світлі $S_{св} = 13,4 \text{ м}^2$ з висотою $H_0 = 3,63 \text{ м}$ та шириною $B_0 = 4,64 \text{ м}$ значення поправочного коефіцієнта згідно (1) дорівнює $k_S = 0,8$. У шахтних умовах на досліджуваному поперечному перерізі виробки за методикою, описаної вище, вимірюється ширина (між стійками кріплення) – B_i і висота (від підосви до верхняка кріплення) – H_i . Перетин виробки $S_{свi}$ в досліджуваній точці приблизно становитиме:

$$S_{свi} = k_S B_i H_i. \quad (2)$$

Дана методика не дозволяє визначити ступінь несиметрії при деформації металевих арок під дією косонаправлених або бічних навантажень. Найбільш точними будуть результати при рівномірному зменшенні площі поперечного перерізу виробки. Збільшення похибки при вимірах буде обумовлено виполажуванням верхняка (форма наблизатиметься до прямокутної) або одностороннім (двостороннім) виполажуванням боків кріплення (трикутна форма). Однак і в цьому випадку помилка не перевищуватиме 15 ... 20%, що цілком допустимо для дослідження таких неоднорідних систем, як кріплення виробки.

Підсумовуючи вищезазначене можна виділити три основні методики визначення зміни геометричних параметрів гірничих виробок та, на підставі досвіду проведення вимірювань, виконати порівняння параметрів, а також властиві кожній з них недоліки і переваги (табл.) [12].

Таблиця

Параметри порівняння методик вимірювання

Методика	Рівень точності	Трудомісткість	Мінімальна кількість виконавців	Швидкість вимірювань, хв	Вартість обладнання
Традиційна	Достатній	Висока	2	До 10	Низька
Маркшейдерська зйомка	Надточний	Середня	2	5...10	Висока
Вдосконалена	Високий	Низька	1	До 5	Середня

Аналізуючи дані таблиці, можна зазначити, що вдосконалена методика і маркшейдерська зйомка дозволяють отримати результати високої точності, проте для виконання натурних досліджень і наступного їх опрацювання рівень точності традиційного способу цілком задовільний. За трудомісткістю і часом виконання робіт безумовно вдосконалений спосіб є більш зручним, але, на відміну від традиційного, має більшу вартість обладнання, хоча, значно меншу, ніж для способу маркшейдерської зйомки. Враховуючи наявність переваг і недоліків кожного способу, виділити якийсь абсолютно універсальний не є можливим, а тому, напевно, методику вимірювань слід обирати відповідно до задач, які ставляться перед науковцями, умов виконання робіт та завдань подальших досліджень. Тому, наприклад, при визначенні зміщень великих масивів гірських порід відносно земної поверхні і відповідних проявів таких процесів у виробках доречним є використання маркшейдерської зйомки. При необхідності виконання вимірювань у захищених обладнаннях виробках, при необхідності забезпечення високого рівня точності натурних досліджень, а також для зниження витрат на проведення робіт більш слушною є вдосконалена методика.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Запропонований комплекс обладнання, новий пристрій та технологія проведення вимірів у виробці дозволяє підвищити безпеку виконання робіт, збільшує точність вимірювань, істотно зменшується їх трудомісткість, дає можливість виконання вимірів однією людиною. Аналіз отриманих результатів дозволить об'єктивно оцінити поточний стан металевого кріплення виробки, оперативно визначити причини та ступінь її деформації, обґрунтувати раціональні способи підвищення стійкості виробок, закріплених металевим або рамно-анкерним кріпленням. Запропонована спрощена методика визначення площі поперечного перерізу виробки для дослідження закономірностей зміни її величини у часі або за довжиною виробки під впливом зовнішніх навантажень.

Список літератури

1. Методические указания по исследованию горного давления на угольных и сланцевых шахтах // ВНИМИ. – Л., 1973. – 102 с.
2. Шашенко А.Н., Солодянкин А.В., Наумович А.В. Исследование закономерностей изменения смещений и деформаций пород по глубине зоны неупругих деформаций // Вісник Криворізького технічного університету. – Кри- вий Ріг, КТУ, 2009. – Вып. 23. – С. 47-50.

3. Солодянкин А.В., Мартовицкий А.В., Панченко В.В. Оценка геомеханических условий поддержания протяженных выработок шахт ОАО «Павлоградуголь» // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог, 2011. – Вып. 94. – С. 109-113.
4. Обоснование параметров крепления участковых выработок в условиях ГП «Шахтоуправление «Южнодонецкое №1» / Е.А. Сдвижкова, А.В. Солодянкин, Д.В. Бабец, С.В. Машурка, О.А. Кузнецова // Вісник Криворізького національного університету. – 2015. – Вип. 39. – С. 19-23.
5. Tereschuk R., Hryhoriev O., Tikhonenko V. Parameters of single anchor effect area in homogeneous border rock mass // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, КТУ, 2016. – Вип. 41. – С. 22-25.
6. Солодянкин А.В., Дудка И.В. Исследование влияния очистных работ на устойчивость участковых выработок в условиях шахты «Партизанская» ГП «Антрацит» // Вісник Криворізького національного університету. – 2016. – Вип. 41. – С. 102-107.
7. Сергеев С.В., Севрюков В.В. Методика и результаты наблюдений за деформациями крепи горных выработок в богатых железных рудах КМА // Известия ТулГУ. Науки о Земле. Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2013. – Вып. № 1. – С. 170-176.
8. Устройство для съёмки сечений камерных выработок / Требуш Ю.П. // Патент на изобретение № 2469268, Российская федерация / МПК 51 НИ СИ. Заявл. 22.07.11; Опубл. 10.12.12; Бюл. № 34. – 10 с.
9. Connector for laser level meter. Patent China. N СК 202041207 N, 16.11.2011. – 9 р.
10. Исследование деформирования сечений выработок, поддерживаемых на отработанных участках / Ю.М. Халимендик, В.А. Назаренко, А.В. Бруй, Ю.А. Заболотная // Проблеми гірського тиску. – Донецьк: Донецький Національний технічний університет, 2010. – №18. – С. 104-115.
11. Пристрій для виміру геометричних параметрів внутрішнього контуру виробки, закріпленої металевим аромним кріпленням / Солодянкин О.В., Дудка І.В., Прокудін О.З. // Патент на корисну модель № 42242, Україна / МПК E 21 D 20/00. Заявл. 15.12.15; Опубл. 15.05.16; Бюл. № 5. – 4 с.
12. Дудка И.В. Обоснование параметров способа крепления и охраны конвейерных штреков для повторного их использования в условиях антрацитовых шахт. – Дис. ... к-та техн. наук: 05.15.04, Дніпро: НГУ. – 2016. – 269 с.
13. Охрана подготовочных выработок, що використовують повторно, в умовах антрацитових шахт : монографія / О.В. Солодянкин, І.В. Дудка, Р.М. Терещук, О.Є. Григор'єв. – Дніпро : НГУ, 2017. – 161 с.
14. Обоснование рациональных параметров способа охраны выработки на сопряжении с лавой на шахте «Южнодонецкая №1» / А.В. Солодянкин, С.В. Машурка, И.В. Дудка, А.Е. Григорьев // Форум гірників-2018: Матеріали міжнар. конф. – Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», – 2018. – С. 115-124.
15. Григор'єв О.Є., Терещук О.В., Дудка І.В. Порівняльний аналіз методик виконання вимірювань геометричних параметрів гірничих виробок // Перспективы развития строительных технологий: материалы 12-й междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. – Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. – С. 29-33.

Рукопис подано до редакції 12.04.18

УДК 621.311.086.5:621.3.001

О. М. СІНЧУК, д-р техн. наук, проф., Ю. Б. ФІЛІПП, канд. техн. наук, доц.,
Криворізький національний університет
Ю. М. КУТОВИЙ, канд. техн. наук, проф.,
НТУ «Харківський політехнічний інститут»

ТЕНДЕНЦІ РОЗВИТКУ І УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ СКІПОВИХ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК ШАХТ

Мета. Метою даної роботи є аналіз напрямків розвитку електроприводів скіпових підйомних установок і дослідження режимів їх енергоспоживання в умовах залізрудних шахт Кривбасу. Для досягнення зазначеної мети в роботі виконано аналіз тенденцій виготовлення механічного і електричного обладнання підйомних установок відомими виробниками у світі, розглянуто стан електроприводів змінного і постійного струму скіпових підйомних установок шахт, проведено дослідження режимів енергоспоживання електроприводів та визначені питомі витрати електроенергії і питома вартість електроенергії при роботі скіпових підйомних установок ПАТ «Кривбасзалізрудком».

Методи досліджень. Основна увага приділена статистичним даним споживання електроенергії шахт з використанням автоматизованих систем комерційного і технічного обліку електроенергії шахт, дослідженню питомих витрат електроенергії та її вартості, а також аналізу технічних характеристик силового електрообладнання шахтних підстанцій та підйомних установок.

Наукова новизна. Енергоспоживання силового електрообладнання підйомних установок шахт розглянуто в комплексі з видобутком залізної руди та різними видами систем електроприводів підйомних установок, які експлуатуються в Кривбасі, що дозволяє аналізувати вплив різних факторів на енергетичні та економічні показники підйомних установок при видобутку руди.

Практичне значення. Використання результатів роботи дає можливість в умовах різних шахт ґрунтовно визначити шляхи модернізації механічного і електричного обладнання підйомних установок та розробити вимоги до режимів роботи з метою мінімізації витрат на електроенергію.

Результати. Проаналізовано графіки видобутку руди і споживаної електроенергії електроприводів скіпових підйомних установок провідних шахт ПАТ «Кривбасзалізрудком», а також розраховані фактичні рівні питомих витрат електроенергії та її вартості на цих шахтах. Основними результатами роботи є рекомендації по використанню енергоефективних систем електроприводів підйомних установок з частотно-регульованим електроприводом на базі синхронних і асинхронних двигунів та рекомендації з практичних розрахунків визначення показників споживання електроенергії в шахтних мережах живлення.

Ключові слова: регульований електропривод, перетворювач частоти, підйомна установка, гармоніки струму.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-20-26

Проблема та її зв'язок з основними науковими і практичними задачами. У процесі виїмки корисних копалин шахти змушені переходити на усе більш глибокі горизонти й здійснювати модернізацію шахтних стаціонарних установок, і в першу чергу підйомних установок. Поглиблення шахтних стовбурів призводить до збільшення потужності електроприводів підйомних установок і росту енергоспоживання шахти. Проблема впливу потужних електроустановок на живлячу мережу була й залишається однією з основних, які впливають на забезпечення необхідної якості електроенергії, яка споживається електроустановками, і гарантування надійності роботи технологічного електрообладнання на підприємстві.

Аналіз досліджень і публікацій. На залізрудних шахтах для підйомних установок з вантажопідйомністю вище 25 т тривалий час використовувались потужні електроприводи за системою Г-Д. У 80-роках минулого століття здійснювалась модернізація таких підйомних установок шляхом заміни генераторів постійного струму на тиристорні перетворювачі постійного струму з живлячими трансформаторами [1-4]. В останні роки намітилася тенденція використання для шахтних підйомних установок регульованого електроприводу змінного струму з перетворювачами частоти [5,6]. Це дозволить істотно підвищити потужність приводних двигунів і глибину обслуговування горизонтів шахт [7,10]. Тому вирішення проблеми енергосумісності електроприводів підйомних установок і шахтних електропостачальних мереж залишається актуальною з огляду на збільшення встановлених потужностей регульованих електроприводів з перетворювачами на шахтах і вдосконалення перетворювальних пристроїв, які випускаються на світовому ринку [8,9,11-15].

Постановка задачі. Метою статті є визначення основних факторів впливу на енергоспоживання регульованих електроприводів підйомних установок та визначення шляхів забезпечення необхідної сумісності цих електроприводів і живлячої мережі.

Викладення матеріалу і результати. На гірничих підприємствах для забезпечення технологічного процесу видобутку й транспортування корисної копалини на поверхню шахт використовуються стаціонарні й мобільні установки й механізми. До шахтних стаціонарних установок, що мають електроприводи середньої й великої потужності, відносяться скіпові й клітьові підйомні установки, вентиляторні, компресорні й водовідливні установки. Ці установки, які працюють в безперервних і циклічних режимах, визначають загальне енергоспоживання по шахті й впливають на якість електроенергії в шахтних мережах електропостачання. Серед перерахованих установок шахтні підйомні установки, які є найважливішою ланкою в технологічному ланцюзі, істотно впливають на формування графіків споживаних активної й реактивної потужності.

На сучасних шахтах України підйомні установки мають двигуни й перетворювальні агрегати потужністю від 2 до 6 МВт. За період будівництва й експлуатації шахт у Кривбасі на підйомних установках встановлювалися й експлуатувалися різні системи електропривода: асинхронні двигуни з фазним ротором і релейно-контакторною системою керування, система генератор-двигун з магнітними підсилювачами й тиристорними збудниками, тиристорний перетворювач-двигун постійного струму з реверсом збудження. Кожна із цих систем відповідала рівню розвитку засобів електричного приводу і через свої переваги й недоліки, у кожному випадку, витіснялися й замінювалися на більше сучасні й ефективні за техніко-економічними показниками системи електропривода.

Так системи генератор-двигун витіснили системи на базі асинхронних двигунів з фазним ротором через кращі регульовальні властивості й більш високий коефіцієнт потужності. На зміну системи Г-Д прийшла система ТП-Д внаслідок зниження масо-габаритних показників, підвищення коефіцієнта корисної дії й зниження витрат на обслуговування. Правда, істотним недоліком цієї системи електропривода виявилася залежність коефіцієнта потужності від на-

пруги й частоти обертання двигуна. Причому при зниженні швидкості обертання істотно знижується коефіцієнт потужності, а при пуску спостерігаються посадки і викривлення мережевої напруги через пускові струми й споживану реактивну потужність.

Розвиток частотно-регульованого електропривода на базі асинхронних і синхронних двигунів з перетворювачами частоти, які мають мінімальні рівні генерованих гармонік струму й високий коефіцієнт потужності, привів до створення, серійного виробництва й впровадження потужних перетворювачів у різних енергоємних галузях промисловості, у тому числі й для шахтних підйомних установок.

На підприємстві ПАТ "Кривбасзалізрудком" функціонують 4 шахти, на яких здійснюється видобуток і підйом на поверхню залізної руди: ш. «Родіна», ш. «Октябрьська», ш. «Гвардійська» і ш. «Терновська».

На шахті Родіна у липні 1971 року гірники видали перші тонни залізної руди. До 1989-го шахта Родіна входила до складу рудоуправління імені Карла Лібкнехта. Нині видобуток залізної руди тут ведеться на горизонті 1315-1390 метра. На шахті впроваджується обладнання провідних світових виробників. У 2013 році на шахті підготовлено два блоки під видобуток руди з використанням самохідної техніки. У липні 2015 року був уведений в експлуатацію перший пусковий комплекс горизонту 1390-1465 метра.

Шахту Октябрьська введено в експлуатацію в 1957 році. Тоді вона входила до складу рудоуправління імені Комінтерну, до 2000 року була у складі шахтоуправління «Октябрьське» ВО «Кривбасруда». Видобуток залізної руди нині ведеться на горизонті 1265 метр, який наприкінці 2009 року було здано в експлуатацію. У серпні 2014 року на шахті «Октябрьська» (ствол «Зоря») введена в експлуатацію скіпова підйомна установка. Вона має два синхронних двигуна, її максимальна швидкість – 12,56 м/с, висота підйому – 1717 м, вантажопідйомність – 50 тонн. Будівництво нового підземного горизонту 1340 метр ведеться шахтобудівельниками за допомогою імпортного гірничопрохідницького комплексу.

На шахті «Гвардійська» перший пробний скіп з багатою залізною рудою на шахті було піднято з горизонту 552 метра в грудні 1964 року. А на повну потужність ш. «Гвардійська» запрацювала в 1965 році. Тоді вона входила до складу рудоуправління ім. Рози Люксембург, з 1988-го по 1989-й рік – РУ ім. В.І. Леніна. Видобуток залізної руди ведеться на горизонті 1350 м. Спеціалісти шахтобудівельного управління для гірників цього структурного підрозділу розпочали проходку нового горизонту – 1430 м. Тривають підготовчі роботи по заміні скіпової підйомної установки.

Шахту «Терновська» введено в експлуатацію в 1963 році, перші тонни руди вона видала в 1964-му. Підрозділ входив до складу рудоуправління імені Орджонікідзе, яке пізніше було перейменовано в рудоуправління імені В. І. Леніна. Наразі видобуток ведеться на горизонті 1350 метр, який був введений в експлуатацію в 2010 році. У 2011 році на шахті здійснена заміна скіпової підйомної машини, яка за показниками енергоефективності відповідає найвищим світовим стандартам, а також дозволяє видавати гірничу масу з глибини понад 1800 метрів, значно економить електроенергію і підвищує рівень охорони праці. Фахівці шахтобудівельного управління для гірників цього структурного підрозділу будують новий горизонт – 1425 метр.

Таким чином, на даний момент на шахтах «Родіна» і «Гвардійська» скіпові підйомні установки обладнані електроприводом за системою генератор-двигун постійного струму, тоді як на шахтах «Октябрьська» (ствол «Зоря») і «Терновська» експлуатуються скіпові підйомні установки з системою електропривода ПЧ-СД.

На шахтах «Октябрьська» і «Родіна» вантажопідйомність скіпів складає 50 тонн, на шахті «Терновська» – 35 тонн, а на шахті «Гвардійська» – 25 тонн. Робоча швидкість підйому скіпів в залежності від стану провідників може бути від 8 до 12 м/с. Річні обсяги видобутку руди досягають: на шахтах «Терновська», «Гвардійська» і «Октябрьська» – 1,6-1,8 млн тонн, на шахті «Родіна» – 1,8-2,1 млн тонн.

Оскільки підприємство ПАТ «Кривбасзалізрудком» має автоматизовану систему комерційного і технічного обліку електроенергії (АСКОЕ), то можна, використовуючи інформацію цієї системи, проаналізувати енергетичні показники систем електроприводу, які експлуатуються на підприємстві. Також в ПАТ «Кривбасзалізрудком» створена і функціонує автоматизована система обліку піднятої на поверхню залізничної сировини. На рис. 1 наведені графіки видобутку руди по шахтам ПАТ «Кривбасзалізрудком» (липень 2018 рік). Коливання видобутку руди

пов'язані з впливом різних факторів: технічних, організаційних, форс-мажорних та інших. Щодо графіків витрат електроенергії (рис. 2) можна помітити нижчі витрати на шахтах «Терновська» і «Октябрська», де встановлений сучасний енергоефективний частотно-регульований електропривод фірми АВВ за системою ПЧ-СД. Також бачимо, що витрати електроенергії на шахті «Октябрська» нижчі ніж на шахті «Терновська» при більшій вантажопідйомності скіпів (50 і 35 тонн), що обумовлено організаційно-технічними факторами. Також можна побачити, що графіки видобутку руди і витрат електроенергії по кожній шахті корелюються між собою, що вказує на достовірність отриманих даних по обліку видобутку руди і спожитої електроенергії.

З урахуванням тарифів на електроенергії в поточному місяці розраховані і побудовані графіки питомої вартості електроенергії по окремим шахтам і по комбінату в цілому (рис. 3).



Рис.1. Графіки видобутку руди на шахтах КЗРК



Рис.2. Графіки витрат електроенергії на СПУ шахт КЗРК

Як видно з наведених графіків, по шахті «Гвардійська» питома вартість електроенергії по скіповому підйому суттєво перевищує питому вартість електроенергії на інших шахтах і по комбінату в цілому. Це пов'язано з вартістю електроенергії на шахті Гвардійська, яка отримує її від Дніпрообленерго з напругою 6 кВ по 2 класу від підстанції Гвардійська 154/6 кВ, тоді як інші шахти з напругою 154/6 кВ по 1 класу. Вартість електроенергії за 2 класом вища ніж за 1 класом, оскільки вона враховує витрати електропостачальника на обслуговування підстанції 154/6 кВ.

На основі отриманих даних були розраховані графіки питомих витрат електроенергії на одиницю видобутку руди по окремим шахтам (рис. 4). Як видно з наведених графіків, питомі витрати електроенергії електроприводами підйомних установок найнижчі на шахтах «Терновська» і «Октябрська» через високий коефіцієнт корисної дії (ККД) систем ПЧ-СД, тоді як на шахтах «Родіна» і «Гвардійська» питома вартість в 2–3 рази перевищує це значення на шахтах «Терновська» і «Октябрська», що пов'язано з використанням електропривода за системою Г-Д.

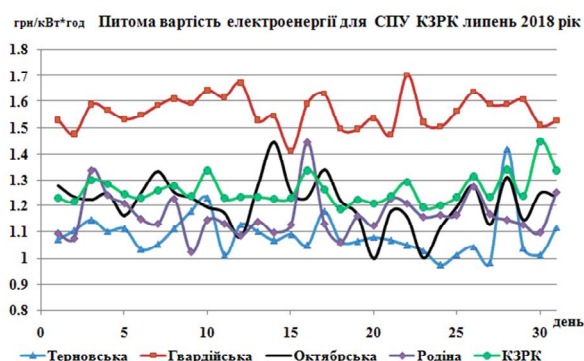


Рис.3. Графіки питомої вартості електроенергії на СПУ шахт КЗРК



Рис.4. Графіки питомих витрат електроенергії на СПУ шахт КЗРК

У зв'язку з відпрацюванням найбільш доступних родовищ корисних копалин шахти й рудники змушені переходити на усе більше глибокі горизонти. При цьому для збереження продуктивності підйомні установки повинні мати все більшу швидкість руху підйомних посудин і більшу їхню вантажопідйомність.

Відомі шахтні підйомні установки (ШПУ), висота підйому яких досягає 5000 м, вантажо-підйомність посудин - до 75 т, а максимальна швидкість руху - 18 м/с. У закордонній практиці максимальна швидкість підйому може досягати 30 м/с. Є підйомні установки, кліті яких одночасно перевозять 150 чоловік. Потужність електроприводів може становити до 5-10 тис. кВт. Маса підйомних канатів може досягати 30 т. При цьому значно збільшуються динамічні навантаження при розгоні й гальмуванні, особливо в режимі запобіжного гальмування.

Як приклад унікального закордонного досвіду проектування шахтних підйомних установок, оснащення підйомних комплексів гірничих підприємств з глибиною шахтних стволів більш як 1000 м, наведений ряд проектів піднімальних установок (табл.1). Ці проекти розроблені й реалізовані компанією «Siemag - Tecberg GmbH» на гірничих підприємствах Південної Африки, Канади, Китаю, Швейцарії. Найбільший виробник важкого машинобудування в Шеффилді (Англія), компанія DavyMarkham також випускає шахтні підйомні установки, які експлуатуються в Північній та Південній Америці, Канаді, Південній Африці з видобутку золота і нікелю. У своїх проектах ці виробники використовують електроустаткування різних фірм: АББ, Siemens, Allen-Bradley.

Таблиця 1

Характеристики підйомних машин на видобувних рудниках			
	Рудник «South Deep Mine» (Південна Африка)	Рудник «Kidd Creek Mine» (Канада)	Рудник «Impala Platinum Limited» (Південна Африка)
Назва параметру	Значення	Значення	Значення
1. Вид виробництва	Підйом корисної копалини	Підйом корисної копалини /спуск і підйом людей/матеріалу	Підйом корисної копалини
2. Підйомні посудини	скіп / скіп	2 скіпа/кліть і противага	скіп
3. Висота підйому	3000 м	1818 м/1778 м	1 922 м
4. Корисний вантаж	31 т	17 т/15т	33 т
5. Швидкість підйому	18 м/с	16,0/10,0 м/сек.	18 м/сек.
6. Тип машини	Двохбарабанна машина Блейер	Двохбарабанна машина	Однобарабанна машина
7. Діаметр барабану	7,1 м	5,5 м	7 м
8. Число шарів навивки канату	4	4	6
9. Навантаження на канат	1050 кН	455 кН	330 кН
10. Потужність приводу	12800 кВт	4000 кВт	7500 кВт

Двохбарабанна підйомна машина Блейер на руднику «South Deep Mine» (Південна Африка). Компанія «Siemag - Tecberg GmbH» по заказу фірми «Placer Dome Western Areas Joint» поставила великогабаритну двохбарабанну підйомну машину Блейер, що при довжині в 33 м, ширині 11 м і при загальній вазі в 800 т, є найбільшою підйомною машиною у світі. Потужність електропривода підйомної машини становить 12 800 кВт.

Двохбарабанна піднімальна машина на руднику «Kidd Creek Mine» (Канада). Компанія «Siemag-Tecberg GmbH» по заказу корпорації «Falconbridge» поставила для рудника «Kidd Creek Mine» (Канада) 2-і однотипні двохбарабанні підйомні машини діаметром 5,5 м.

Однобарабанна підйомна машина на руднику компанії Impala Platinum Limited (Південна Африка). Компанія «Siemag-Tecberg GmbH» по заказу компанії Impala Platinum Limited поставила однобарабанну підйомну машину діаметром 7 м.

Найглибші шахти розташовуються в Африці й забезпечують видобуток золота. Шахта «Мпоненг» має глибину 3777 м і розташована біля Йоханнесбурга (ПАР). Золотоносна шахта "Витватерсранд" із глибиною більше 4500 м розташована також у ПАР. Найглибшою є шахта «Тау-Тона», на якій добувається золото, і перебуває вона в ПАР, до південно-заходу від Йоганнесбурга, на території скасованої провінції Трансвааль. Її глибина становить 5000 метрів й у цілому на ній працює 35 000 чоловік.

Підйомні машини в Україні випускає Новокраматорський машинобудівний завод (НКМЗ). Підйомні багатоканатні машини можуть мати різну кількість підйомних канатів (2; 3; 4; 6; 8) і розташовуються безпосередньо над стовбуром шахти на баштовому копрі (машини типу МПМБ, ЦШ і МК) або встановлюються в наземному будинку на певній відстані від стовбура (машини типу МПМН і ЦШН).

Через використання багатотарифного обліку електроенергії підйом корисної копалини на поверхню здійснюється в основному в нічний час і частково в денний час, крім годин ранкового й вечірнього пікового навантаження (рис. 5). Це дозволяє мінімізувати витрати на електроенергію, що споживають підйомні установки. Для максимального скорочення роботи в денний час необхідно при проектуванні нових підйомних установок і модернізації діючих підйомних установок передбачати запас по вантажопідйомності скіпів, потужності двигунів і швидкості підйому, щоб підйом корисної копалини здійснювався в основному вночі.

Споживана електроенергія електропривода підйомної машини може бути визначена наступним вираженням

$$W = \frac{Q \cdot g \cdot V \cdot t}{\eta} = \frac{Q \cdot g \cdot H}{\eta}, \quad (1)$$

де Q – корисне навантаження підйомної посудини (скіпа), т; H – висота підйому, м; η – коефіцієнт корисної дії піднімальної машини, редуктора і електроприводу; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Як видно з виразу (1), споживана електроенергія визначається корисним навантаженням, висотою підйому й не залежить від швидкості підйому. Підвищення швидкості підйому приводить тільки до скорочення часу підйому корисної копалини на поверхню шахти.

Добові графіки споживаної активної потужності скіпових підйомів різних шахт представлені на рис. 5.

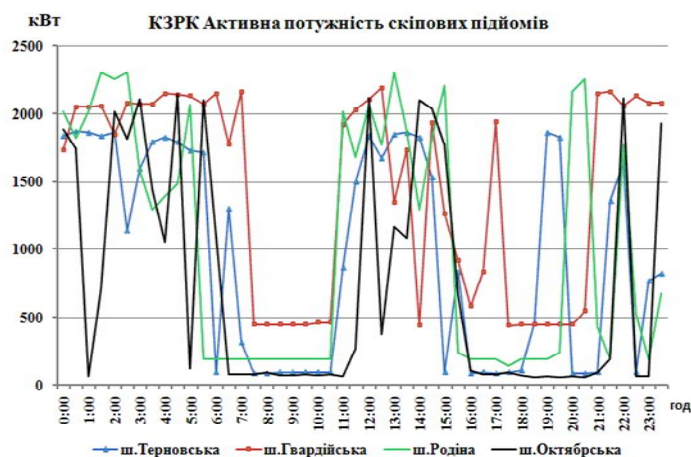


Рис.5. Добові графіки споживаної активної потужності скіпових підйомів шахт ПАТ "КЗРК"

Варто звернути увагу, що на шахтах «Терновська» й «Октябрська» на скіпових підйомах впроваджений електропривод по системі ПЧ-СД і під час стоянки цих установок рівень споживаної потужності холостого ходу значно нижче, ніж в електроприводів по системі Г-Д, що є на скіпових підйомах шахт «Родіна» й «Гвардійська» (близько 100 кВт у порівнянні з 200 кВт для шахти «Родіна» й 450 кВт

для шахти «Гвардійська»). Це відбувається через вищий коефіцієнт корисної дії електропривода за системою ПЧ-СД у порівнянні з системою Г-Д. Для зменшення негативного впливу перетворювачів електроприводу підйомної установки на інших електроспоживачів підстанцій необхідно, щоб ці споживачі були відокремлені від живлячих трансформаторів підйомних установок і підключені до підстанцій 154/6 кВ по окремим кабельним лініям з реакторами.

Висновки. 1. Проведений аналіз графіків споживаної активної потужності скіпових піднімальних установок залізорудних шахт Кривбасу з різними системами електроприводів скіпового підйому (Г-Д, ТП-Д, ПЧ-СД), показав, що використання системи ПЧ-СД дозволяє суттєво зменшити витрати електроенергії.

2. У зв'язку з відпрацюванням найбільш доступних родовищ корисних копалин шахти й рудники змушені переходити на усе більше глибокі горизонти. При цьому для збереження продуктивності підйомні установки повинні мати більшу швидкість руху підйомних посудин і більшу їхню вантажопідйомність.

3. Для максимального скорочення роботи в денний час необхідно при проектуванні нових підйомних установок і модернізації діючих підйомних установок передбачати запас по вантажопідйомності скіпів, потужності двигунів і швидкості підйому, щоб підйом корисної копалини здійснювався в основному вночі.

4. Недостатня увага до особливостей схем електропостачання кожної шахти та підвищення потужності електропривода при заглибленні шахт може привести до погіршення якісних показників електроенергії в живлячих мережах, що негативно впливає на роботу як внутрішніх

споживачів електроенергії шахт, так і на роботу субабонентів шахтних підстанцій (міські електромережі, міський комунальний електротранспорт, насосні станції водопостачання).

Список літератури

1. Сінчук О.М., Філіпп Ю.Б., Максимов М.М., Ялова А.М. «Методологія оцінки та формування енергоефективних режимів споживання електроенергії на залізничних підприємствах». Вісник Криворізького національного університету, вип. 42, 2016. – С.146-150
2. Сінчук О.М., Філіпп Ю.Б. До проблеми реновації систем енергоспоживання залізничних підприємств. Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика, вип. 1/2018. – С. 20-22.
3. Філіпп Ю.Б., Максимов М.М., Коваль О.В. Режими енергоспоживання субабонентів на підстанціях ПАТ «Кривбасзалізрудком». Вісник Криворізького національного університету, вип. 38, 2014. – С.74-77.
4. Сінолиций А.П., Момот В.Ю., Філіпп Ю.Б., Максимов М.М. Режими енергоспоживання на підстанції Ленінська-2 в умовах шахти ім. Леніна ВАТ «Кривбасзалізрудком». Вісник Криворізького технічного університету, вип. 23, 2009. – С.137-140.
5. О. Sinchuk, Yu. Filipp, M. Maksimov, R. Zaytsev. The effects of adjustable electric drives of mine hoisting equipment on the electricity quality in the power supply circuits. Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Випуск 1/2017 (37). – С. 49-55.
6. Філіпп Ю.Б. Автоматизований електропривод гірничо-металургійного виробництва: Підручник / Під. ред. О.М.Сінчука. – Кривий Ріг, 2018. – 236 с.
7. Электропривод шахтных стационарных установок. Современное состояние и перспективы. [Электронный ресурс] / Л.Х.Дацковский, Роговой В.И. // Электромашинобуд. та електрообладн. 2006, Вип.66, С.94-102.
8. Литвак В.В., Маркман Г.З., Харлов Н.Н. Энергосбережение и качество электрической энергии. Томск, 2005. – 157 с.
9. Билоус О.А., Сагизов А.Б. Математическое моделирование влияния работы непосредственного преобразователя частоты на сеть электроснабжения. /Вестник ПНИПУ, Электротехника, информационные технологии, системы управления, Пермь. 2013, №8. С.106-113.
10. Дацковский Л.Х., Роговой В.И., Кузнецов И.С., Жидков А.А., Воликов А.А. Электропривод современных шахтных подъемных машин. Известия ТулГУ. Технические науки, 2010. Вып.3, ч.2. С.157-165.
11. Комбинированное управление с задающей моделью позиционным электроприводом шахтной подъемной установки / А.В.. Чермалых, А.В. Данилин, А.В. Босак, А.О. Петрученко // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика : наукове видання. – Кременчук: КрНУ, 2016. – Вип. 1/2016 (4) – С. 29-31.
12. Пустоветов М.Ю. Расчет параметров и компьютерное моделирование синусных фильтров в частотно-регулируемом электроприводе. /Вестник Донского государственного технического университета, Ростов-на-Дону. 2012. С.56-64.
13. Сінчук О.М., Філіпп Ю.Б., Сінчук І.О. Максимов М.М. Дослідження енергоефективності роботи стаціонарних установок залізничних шахт. Зб. тез допов. «Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві». – Кіровоград, 2015. – С.14-16.
14. Фокин А.В. Технические аспекты применения статического тиристорного компенсатора для электропривода шахтной подъемной машины // Известия ТулГУ. – 2011. – Вып. 6. С.273-281.
15. Зюзев А.М., Степанюк Д.П., Бубнов М.В. Применение ФКУ для улучшения электромагнитной совместимости с сетью устройств плавного пуска асинхронных двигателей / Электроэнергетика и электромагнитная совместимость электроприводов переменного тока. ЭППТ, Екатеринбург. 2015. С.83-88.

Рукопис подано до редакції 18.04.2018

УДК 621.914.02

С.В. АРТЕМОВ, директор, Г.С. КОНОНОВ, заст. директора
ТОВ «ФЕРУМ-СТРОЙ-СЕРВИС»

С.С. ДУБРОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., О.В. КАЧУР, аспірант
Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ РОЛИКІВ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ

В роботі наведено результати досліджень направлених на пошук рішень по підвищенню надійності деталей конвеєрів. Наведено аналіз технологічних та експлуатаційних недоліків існуючих конвеєрних роликів. Визначено необхідність підвищення надійності і ресурсу роботи роликів шляхом створення досконалішої і технологічнішої конструкції. Що дозволить підвищити надійність стрічкових конвеєрів в цілому. В даній роботі запропоновано зміни в конструкції ущільнення, а саме використання комбінованого ущільнення, що б забезпечило потрібний рівень герметичності.

Мета. Є визначення основних причин відмов роликів стрічкових конвеєрів які призводять до зупинок та

передчасного руйнування деталей опор. Розробка пропозицій по підвищенню надійності та терміну безвідмовної експлуатації опор роликів стрічкових конвеєрів.

Методи досліджень. Використано методи комп'ютерного моделювання, розрахунковий модуль FloSimulation, процесу руху повітря в лабіринтовому ущільненні з метою визначення можливих течій повітря в проміжках лабіринтових ущільнень підшипникового вузла.

Наукова новизна. Наведено результати моделювання які доводять, що в каналах лабіринтового ущільнення присутній рух повітря внаслідок обертання другої частини ущільнення, яке в даному випадку працює як робоче колесо відцентрового насоса, та в наслідок нагрівання корпусу при взаємодії із стрічкою в процесі роботи, що спричиняє підвищення тиску в середині корпусу та збільшує перепад тиску в порівнянні із зовнішнім.

Практична значимість. Наведено практичні рекомендації для запобігання проникненню абразивних частинок під час зупинок конвеєру та доведено необхідність використання комбінованих ущільнень.

Результати. Визначено основні причини проникнення абразивних часток крізь лабіринтне ущільнення. Запропоновано при визначенні ресурсних можливостей ролику також враховувати кількість зупинок в процесі експлуатації. На основі отриманих результатів спрогнозовано термін служби лабіринтового ущільнення.

Результати можуть бути використанні гірничо-металургійній і інших галузях промисловості.

Ключові слова: ролики, підшипник, ущільнення, лабіринт, конвеєр, моделювання, корпус.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-26-32

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Стрічковий конвеєр один з найбільш високопродуктивних транспортних засобів. Сфера застосування його дуже велика, це і гірничорудна промисловість, яка представлена як великими гірничозбагачувальними комбінатами, шахтами, кар'єрами, так і малими підприємствами, що спеціалізуються на добуванні корисних копалин. Сукупна довжина стрічкових конвеєрів на підприємстві може досягати від сотень метрів до декількох сотень кілометрів [1-3].

Аналізуючи надійність вузлів стрічкових конвеєрів на різних підприємствах з'ясувалося, що мають найменший ресурс, при цьому вимагають найбільших трудових і матеріальних витрат такі вузли конвеєра, як конвеєрні ролики і конвеєрна стрічка. Згідно із статистичними даними на долю роликів конвеєрів доводиться до 40% усіх витрат на ремонт і обслуговування і до 30% від вартості усього конвеєра. Ресурс конвеєрних роликів на гірничорудних підприємствах у вузлах завантаження складає від 0,5 до 1 року, по ставу конвеєра від 0,7 до 2,5 років, складаючи в середньому 1,7 року [3,4]. Розрахунковий термін служби середнього опорного ролика, як найбільш навантаженого в середньому складає від 25 до 35 тис. годин, що перевищує фактичний термін служби у декілька разів. В середньому за увесь термін служби кожен ролик в конвеєрі міняють від 3 до 5 разів, тобто потреба в роликах існує постійно і у міру збільшення довжини конвеєрів вона зростає [3].

Таким чином, опорні ролики є одними з масових складових стрічкового конвеєра. Ролики є однією з найважливіших складових, що визначають працездатність і надійність стрічкового конвеєра.

В Україні потреба в роликах складає за середніми статистичними даними близько 250000 штук в рік, і ця потреба росте з введенням в експлуатацію нових підприємств [2].

Аналіз досліджень і публікацій. Загальним питанням теорії і практики виготовлення і складання опорних роликів конвеєрів і їх конструктивному виконанню присвячена велика кількість публікацій, патентів і наукових праць. Зокрема це роботи Співаковського А.О., Александрова М.П., Пертена Ю.А., Зенкова Л., Колобова Л.Н. [5, 6]. У згаданих роботах відзначається, що багато в чому надійна експлуатація роликоопор і роликів конвеєра залежить від декількох важливих чинників, це характеристики вантажу, що транспортується, наявності ударних навантажень, особливо це помітно у вузлах завантаження, від якості виготовлення самих роликів і різних технологічних чинників [7].

Відомі роботи Б.И. Когана та ін. [8,9], де викладені питання підвищення технологічності і надійності різних деталей і запропонована методологія конструкторсько-технологічного забезпечення якості, яка дозволяє прогнозувати відмови, оцінювати показники якості машин. Розглянутий взаємозв'язок вибору раціональних заготовок, технології і якості деталей. Дані рекомендації по виготовленню корпусів роликів.

Постановка задачі. Багато великих підприємств займається виготовленням стрічкових конвеєрів і їх вузлів, часто пропонують свої конструкторські рішення вузлів стрічкових конвеєрів, у тому числі і роликоопор [10,11]. Усі ці конструкторські рішення об'єднує одне, це влас-

ний оригінальний підшипниковий вузол, спеціально розраховане лабіринтове або комбіноване ущільнення і різні варіанти виконання маточини ролика [11].

Проте наявні статистичні данні свідчать про значний відсоток відмов саме роlikоопор стрічкових конвеєрів які призводять до зупинок а іноді і до виникнення надзвичайних ситуацій. Тому доцільним є продовження досліджень направлених на пошук рішень по підвищенню надійності деталей конвеєрів. Провівши аналіз конструкцій існуючих конвеєрних роликів, їх технологічних та експлуатаційних недоліків визначили необхідність підвищення надійності і ресурсу роботи роликів шляхом створення досконалішої і технологічнішої конструкції.

Викладення матеріалу та результати. Статистичні данні за результатами експлуатації стрічкових конвеєрів працюючих в тяжких умовах і запиленому середовищі показують, що однією з причин аварійних зупинок, які відбуваються на конвеєрах, є вихід з ладу роликів конвеєра. За наявними даними, в шахтах щорічно відбувається 9-11 займань, з них з експлуатацією стрічкових конвеєрів пов'язані до 5 великих пожеж тих, що привели до великих матеріальних витрат і навіть до людських жертв. Наприклад, з 86 аварій, за останні 5 років у вугільній промисловості, 82 сталося в шахтах, 42% з них були підземними пожежами. Статистичні дані свідчать, що майже 30% з них пов'язано із займанням конвеєрної стрічки. Причому пожежі виникають, як правило, на приводних станціях (64%), натяжних станціях (10,8%) і лінійній частині конвеєра (25,2%). Головною причиною займання стрічки на лінійній частині конвеєра стають руйнування підшипника ролика, його подальше заклинювання, надмірне тертя ролика об стрічку і як наслідок, нагрів і займання [11]. Вихід з ладу ролика неминуче впливає на роботу усього конвеєра. Зростаючий опір обертанню стрічки призводить до підвищеного енергоспоживання, тертя ролика, що заклинив, об стрічку і як наслідок нагрівання і можливе займання, чи пошкодження конвеєрної стрічки.

Головними причинами виходу з ладу роликів (рис. 1) є заклинювання підшипникових вузлів роликів, внаслідок їх засмічення пилоподібними частками, недостатності мастила в назначений період експлуатації [11,12].

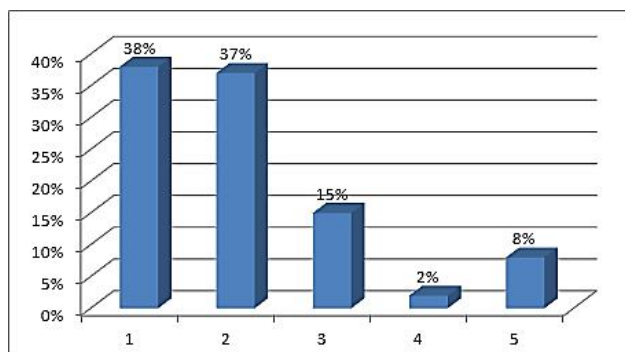


Рис. 1. Статистичний розподіл відмов: 1 – засмічення підшипників та їх заклинювання; 2 – відсутнє або недостатнє змащування підшипників; 3 – послаблення посадки підшипників; 4 – витирання корпусу по колу при перевантаженнях; 5 – інші фактори при експлуатації

Також, однією з причин заклинювання підшипника є дія динамічних навантажень, що призводять до надмірного перекоосу внутрішнього і зовнішнього кільця один відносно одного і затискання елементів кочення,

постійні цикли затискання, можуть привести до руйнування підшипника.

У роботі [13] розглядається надійність роlikоопор в контексті підвищення живучості їх підшипникових вузлів. Опираючись на отриману інформацію, можна встановити основні і постійно діючі чинники, що визначають ступінь пилопроникнення ущільнювачів роликів. Досить суттєвий вплив спричиняє порушення герметичності порожнини ролика, особливо враховуючи такзване «дыхання» внутрішнього об'єму ролика внаслідок перепаду температури, а також радіальна і осьова гра в підшипниках та неточності виготовлення деталей ущільнень.

Запропоновані фахівцями підприємства «Ферум-строй-сервіс» конструктивні вдосконалення роlikоопор є результатом досвіду з експлуатації та виготовлення об'єднаних загальним принципом - виключення конструктивним шляхом відносного перекоосу зовнішнього кільця підшипника, підвищення герметичності внутрішньої порожнини ролика та зниження собівартості продукції при сталих показниках якості.

Особлива увага приділялась забезпеченню герметичності опори. В запропонованій конструкції було доопрацьовано технологію з'єднання корпусу ролика та корпусу підшипника. Зазвичай для з'єднання використовували посадку з натягом та зварювання. При цьому виникали значні проблеми із забезпечення герметичності з'єднання. Для покращення посадки поверхні потребували додаткової механічної обробки, що значно підвищувало вартість виготовлення, а використання герметизуючих матеріалів було неможливим із застосуванням зварювання. Тому

групою фахівців підприємства «Форум-строй-сервіс» було запропоновано методику, яка вирішила дану проблему. А саме посадочне місце корпусу ролика перед з'єднанням покривалося герметизуючим шаром ґрунту після чого проводилось запресування корпусу підшипника та фіксувалось закручуванням чи продавлюванням корпусу ролика. Що дозволило відмовитись від зварювання та забезпечило потрібний рівень герметичності по даному з'єднанні.

Також проблемним в забезпеченні герметичності є лабіринтове ущільнення. Проведений літературний аналіз з метою визначення методики розрахунку щільності лабіринтових ущільнень показав, що існуючі методики розрахунку призначені для визначення витоків газу за умови різниці тисків перед і за ущільненням. У разі підшипникового вузла ролика конвеєра така різниця тисків не значна, що робить неможливим застосування згаданих методик.

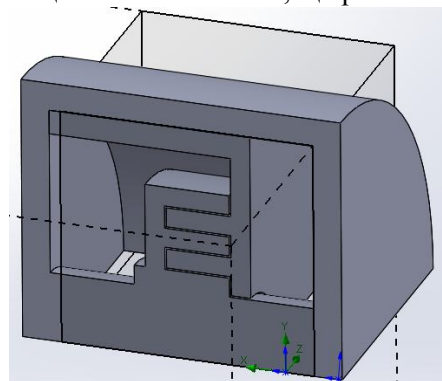


Рис. 2. Модель ущільнення

З метою визначення можливих течій повітря в проміжках лабіринтових ущільнень підшипникового вузла було проведено комп'ютерне моделювання процесу. Розрахункова модель є збіркою з двох деталей - нерухомої осі ролика з половиною горизонтального лабіринтового ущільнення і корпусу ролика, що обертається, з другою половиною ущільнення.

Завдання вирішувалося за допомогою розрахункового модуля FloSimulation. Модель вузла (рис.2) побудована з урахуванням особливостей цього розрахункового модуля.

Поточне середовище: повітря

Статичний тиск: 101325.00 Pa

Температура: 293.20 K

Тип підзадачі: завдання з рухливим тілом, що обертається.

Щільність сітки: 3 рівень з автоматичною обробкою вузьких каналів.

В результаті розрахунку було отримано діаграми швидкостей потоку та лінії протікання повітря в лабіринтовому ущільненні і навколо нього (рис. 3-6).

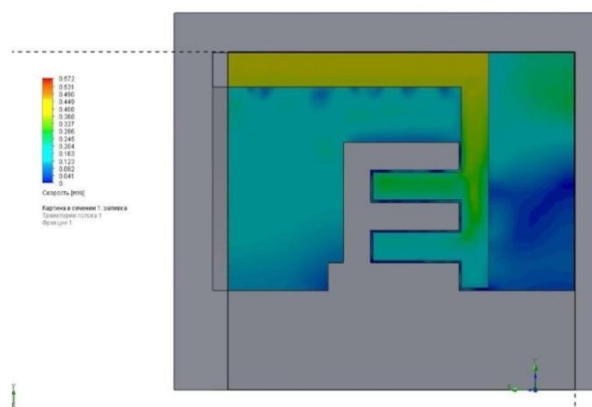


Рис. 3. Швидкість потоку біля лабіринтового ущільнення

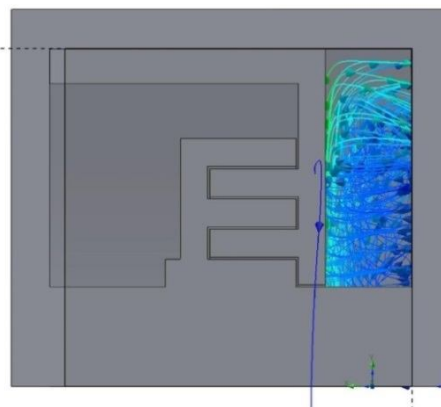


Рис. 4. Лінії потоку повітря із зовнішнього боку ролика

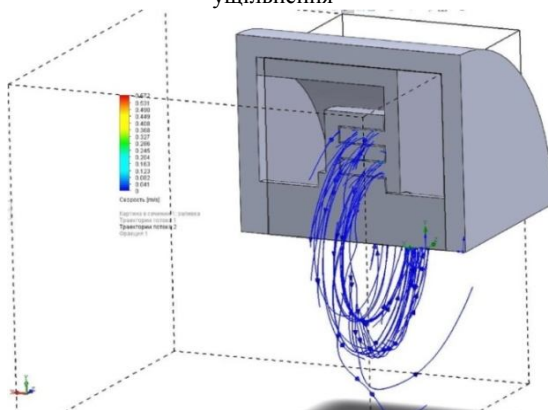


Рис. 5. Лінії потоку всередині лабіринтового ущільнення

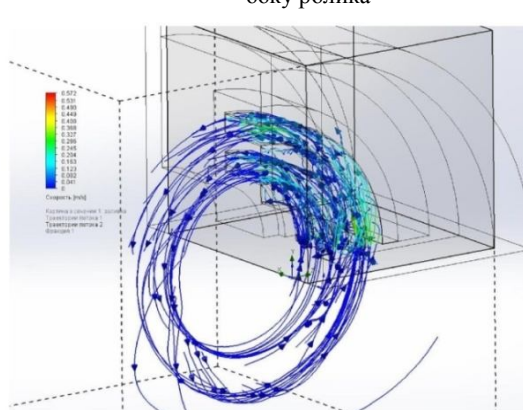


Рис. 6. Лінії потоку в середині лабіринтового ущільнення

Додатково було проведено моделювання руху потоку часток в межах лабіринтового ущільнення в процесі обертання ролика. В якості часток використовувалися частки діаметром 0,1 мм, матеріал цемент.

Результати моделювання показали, що в каналах лабіринтового ущільнення присутній рух повітря внаслідок обертання другої частини ущільнення, яке в даному випадку працює як робоче колесо відцентрового насоса. Незважаючи на відсутність лопаток, обертання частини ущільнення підхоплює і відкидає повітря в радіальному напрямі. Особливо добре це видно із зовнішнього боку ущільнення. Внаслідок цього біля валу і вхідної щілини ущільнення спостерігається зниження тиску (розрідження).

У середині ролика також відбувається подібний рух, але з меншою інтенсивністю. Причому в районі щілини ущільнення спостерігається збільшення тиску.

Максимальна швидкість потоку повітря із зовнішнього боку ролика складає 0,25 м/с, навколо вхідної щілини ущільнення - 0,05 м/с, в каналах лабіринтового ущільнення - 0,08 м/с.

Було встановлено, що у вхідну щілину лабіринтового ущільнення потрапляє 5 часток із 200 (рис.7).

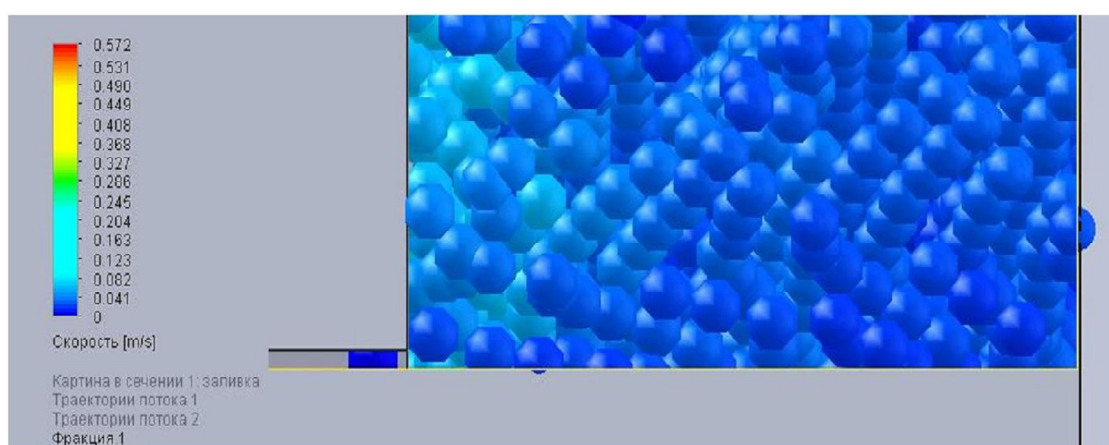


Рис. 7. Попадання часток в щілину лабіринтового ущільнення

На основі отриманих результатів спрогнозуємо термін служби лабіринтового ущільнення. Приблизний об'єм усіх щілин лабіринтового ущільнення складає 132 мм³. Якщо припустити, що ущільнення вийде з ладу за умови, що усі щілини заповняться пилом, то для цього знадобиться 132287 порошинок, а в атмосфері біля ролика таких порошинок повинно бути 5291502 або, враховуючи розмір і щільність часток, 37,7 гр. При ГДК по пилу 4 міліграми/м³ біля ролика повинні пройти 9432 м³ повітря.

Якщо врахувати, що повітря підходить до ролика з торця із швидкістю 0,2 м/с (згідно з результатами моделювання), то ущільнення повністю заб'ється частками через 47360 годин = 19173 дні = 5,4 року безперервної роботи.

Визначений строк служби приблизно співпадає з реальними даними, що говорить про вірну гіпотезу, покладену в основу зроблених висновків.

За результатами проведеного дослідження було висунуто припущення, що в каналах лабіринтового ущільнення присутній рух повітря. Під час розгону та сталого режиму роботи ролика, його рухомі частини працюють як колесо відцентрового насоса та відштовхують повітря у радіальному напрямі. У середині ролика тиск повітря дещо знижується завдяки тому, що частина повітря відкидається назовні. Частинки пилу не можуть потрапити усередину ролика, оскільки немає потоків повітря, що йдуть всередину ролика. Погіршує стан роботи ущільнень також зміна температури в процесі роботи. При роботі ролик нагрівається, що спричиняє підвищення тиску в середині корпусу, при цьому також деяка кількість повітря витісняється через ущільнення назовні. Під час зупинки конвеєру ролика охолоджуються, що призводить до зниження тиску в середині корпусу, також спричинене дією відцентрової сили відкидання повітря також припиняється, що спричиняє затягування потоків повітря через ущільнення у середину ролика та потрапляння сторонніх частинок пилу.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Забруднення багатоступінчастого ущільнення відбувається не під час роботи, а під час його зупинки. Тому при визначенні ресурсних можливостей ролика потрібно також враховувати кількість зупинок в процесі експлуатації. А для запобігання проникнення абразивних частинок під час зупинок необхідно передбачити так звані стояночні ущільнення, які б забезпечували герметизацію опори після зупинки та не заважали вільному обертанню при роботі ролика [14].

Проаналізувавши наведену інформацію, доцільним є використання крім лабіринтового ущільнення додаткового роторного контактного ущільнення, в конструкції якого використовується ефект відцентрової очистки від пилоподібних частинок. Також конструкція роторного ущільнення дозволяє під час зупинки конвеєра перешкоджати проникненню пилоподібних частинок з навколишнього середовища.

Так фахівцями підприємства «ферум-строй-сервіс» було запропоновано в комбінації із лабіринтовим ущільненням додатково використовувати контактне ущільнення із войлоку просоченого мастилом.

Проте, висунута гіпотеза, отримані результати та запропоновані технологічні рішення потребують уточнення і доповнення експериментальними дослідженнями і промисловими випробуваннями. Дослідження проводяться фахівцями від підприємства.

Список літератури

1. **Шешко Е. Е.** Горнотранспортные машины и оборудование для открытых горных работ: учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во Моск. горн. ун-та, 2006. – 260 с.
2. **Кузнецов Б. А.** Транспорт на горных предприятиях: учебник / Б. А. Кузнецов. – М.: Недра, 1976. – 552 с.
3. **Стамов А.И.** Конвейерные ролики улучшенной конструкции // Журнал «Горная промышленность». – 2001. - №3. - С. 47-49.
4. **Шоджаатолхосейни С.А.** Обоснование рациональных параметров роlikоопор линейных секций мощных ленточных конвейеров горных предприятий: автореф. ... канд. техн. наук: 05.05.06. – М.: Московский государственный горный университет, 2009. – 24 с.
5. **Колобов Л.Н.** Зуев В.А. Расчет подшипников роликов ленточных конвейеров на долговечность от внешних и внутренних нагрузок // Труды МВТУ №315. «Теория, расчет и исследование подъемно-транспортных машин». М.: Издательство МВТУ, 1979. - С. 63-93.
6. **Пертен Ю.А.** Конвейерный транспорт XXI века // Журнал «Транспорт Российской Федерации». – Санкт-Петербург: ООО «Т-ПРЕССА», 2005. - №1. – С. 42-43.
7. **Шаяхметов Е.Я.** Манежанов Б.А., Мендебаев Т.М., Темиртасов О.Т. Влияние технологических факторов на работоспособность роlikоопор ленточных конвейеров // Вестник КазНТУ. – Алматы, 2015. - №1(107). – С.189- 193.
8. **Коган Б.И.** Технологическое обеспечение качества производства горных машин и инструментов: автореф. док. техн. наук: 05.05.06. – Кемерово, 1996. – 50 с.
9. **Коган Б.И., Голубев А.А., Иванов А.С.** О проблеме изготовления обечеек роликов ленточных конвейеров из листа // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2007. – №2.
10. Каталог фирмы Superior Industries (США) // <http://superior-ind.com>.
11. **Шахметов Е.Я.** Конструирование и техническое обеспечение качества роlikоопор ленточных конвееров, работающих в тяжелых условиях. Дис. Канд.тех наук. Специальность Машиностроение. Алматы, Казахстан 2017г.
12. **Гусев В.В.** Молчанов А.Д., Вяльцев Н.В. Применение современных материалов в торцовых уплотнениях горношахтного оборудования // Донбас - 2020: наука і техніка - виробництву: матеріали ІІ наук.-практ. Конф. – Донецьк: Донец. нац. техн. ун-т та ін, 2004.- С. 84-88.
13. **Галкин В.И.** Методы расчета и оценка показателей надежности ленточных конвейеров горных предприятий: дис. док. техн. наук: 05.05.06.- М.:, 2000.- 421 с.
14. **Комиссар А.Г.** Опоры качения в тяжелых режимах эксплуатации: Справочник – М.: машиностроение, 1987. 384с.
15. **Монастирський В.Ф.** Определение срока службы роликов ленточных конвееров для различных типов роlikоопор. / Монастирський В.Ф., Кирия Р.В., Смирнов А.Н./ Геотехнічна механіка. 2014. №115 148-153с. ISSN 2309-6004 (Online).

Рукопис подано до редакції 05.04.2018

УДК 622.012:624.9-027.45

Д.В. БРОВКО, В.В. ХВОРОСТ, кандидаты техн. наук, доценты
Криворожский национальный университет

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ВОЗМОЖНЫХ ДЕФЕКТОВ ОБЪЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ШАХТ В ВИДЕ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ИХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОСМОТРОВ

Цель. Создание одного из методов оценки технического состояния элементов конструкций зданий и сооружений поверхности шахт - метода анализа распространения дефектов, позволяющий, в условиях напряженного состояния конструктивного элемента, на стадии проектирования определить будущие работы по обеспечению надежной эксплуатации и установить высокий уровень безопасности объектов поверхности шахт.

Методы исследований. Разработана аналитическая модель распространения дефектов в условиях напряженного состояния конструктивного элемента. Данные, по результатам экспериментальных исследований элементов конструкций промышленных объектов шахт, дали возможность определить параметры кинетического уравнения с использованием принципов регрессионного анализа, что в свою очередь позволило получить зависимость, характеризующую промежуток времени до разрушения определенного дефекта при различных значениях, действующих или возникающих нагрузок. Выполненные расчеты позволяют предположить, что выявление дефекта больше зависит от величины начального дефекта, чем от величины нагрузки.

Научная новизна. Научная новизна предложенного в работе метода – адекватное описание оценки и анализа надежности выполнения работ при обследовании и реконструкции промышленных объектов шахт с учетом представления результатов выполнения работ в виде статистических данных с учетом математического моделирования возможных дефектов.

Практическая значимость. Создание метода анализа распространения дефектов, который позволяет определять направление работ по обеспечению по обеспечению надежной эксплуатации и установить высокий уровень безопасности объектов поверхности шахт. В результате проведения предложенных мероприятий повышается уровень надежности эксплуатируемого объекта, что влечет за собой сохранение как материальных активов, так и жизни работников предприятия.

Результаты. Получена модель, позволяющая определить надежность элементов эксплуатируемых зданий и сооружений поверхностного комплекса в виде зависимости от конструктивных параметров элемента и параметра распределения начального дефекта, значения которого, имея априорное распределение, после поступления информации приобретают апостериорное распределение, что позволяет обоснованно формировать эксплуатационную надежность всей системы. Предложенная методика определения надежности эксплуатируемых зданий и сооружений поверхности может быть использована на практике для оценки вида технического состояния и безопасного остаточного ресурса.

Ключевые слова: объекты поверхности шахт, надежность, дефект, напряженное состояние

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-32-38

Постановка проблемы. Качество выполнения работ реконструкции промышленных объектов шахт – это максимально возможное выявление имеющихся дефектов. Обследование сооружений поверхности – процедура определения их технического состояния. На основе результатов (фактических значений контролируемых параметров) технического обследования здания или иного сооружения можно оценить пригодность объекта для дальнейшей эксплуатации, реконструкции или определить необходимость в восстановлении, усилении, ремонте элементов конструкций. Эта задача огромной важности, так как не выявленные дефекты проявляются в виде аварий конструкций в процессе эксплуатации промышленных объектов шахт.

Выделение нерешенной проблемы. Современные научные и производственные представления, на которых базируется большинство методик определения фактического состояния конструктивных элементов объектов поверхности шахт, опираются на стандартных представлениях. При этом разработка и внедрение новых методик, основанных на комплексном определении фактического состояния объектов поверхности, продлит их безопасную эксплуатацию.

Анализ последних исследований. Суммируя результаты многочисленных исследований, причинами аварий и аварийных ситуаций могут быть:

ошибки при проектировании и реконструкции (недостаточный учет грунтовых условий, применение различных конструктивных схем в одном здании, изменение расчетной схемы, неверный выбор усиления и т.д.);

ошибки при строительстве и реконструкции (низкое качество строительно-монтажных работ, одновременное возведение частей здания, дефектные материалы, неквалифицированное выполнение проекта производства работ по реконструкции и т.д.);

ошибки при эксплуатации (карстовые образования, подземные выработки, неравномерные воздействия на конструкции, динамическое воздействия и др.);

непредусмотренные внешние воздействия как явления природы (шквальный ветер, сильные осадки, сильное обледенение), так и результат деятельности человека (взрывы, обвалы, удары);

срок службы конструкций или здания выше нормативного без выполнения плановых ремонтно-восстановительных работ.

Выделение нерешенной ранее части общей проблем. Оценка технического состояния элементов конструкций зданий и сооружений проводится путем сопоставления предельно допустимых (расчетных или нормативных) и фактических значений критериев, характеризующих прочность, устойчивость, деформативность и эксплуатационные характеристики конструкций. При проектировании объектов поверхности их эксплуатационные характеристики не являются заданными. Не моделируется физический износ конструктивных элементов и объекта в целом. Практически довольно сложно на стадии проектирования определить будущие затраты по обеспечению надежной эксплуатации здания.

Формулирование цели работы. Минимизируя функцию параметров технического состояния, можно получить функцию надежности объекта поверхности в целом и предусмотреть эффективную систему анализа распространения дефектов в условиях напряженного состояния конструктивного элемента.

Изложение основного материала. Достаточно большой или малый участок, имеющий различную конфигурацию, можно исследовать различными способами: либо целиком, либо разбивая на отдельные участки. Решить эту задачу в общем виде не всегда представляется возможным, однако сравнить два разбиения с точки зрения поставленной задачи можно. Это сравнение выявляет один способ, дающий более высокое качество выполнения работ по исследованию в сравнении с другим. Но чтобы получить параметр надежности испытания в количественной форме потребуется решить ряд достаточно сложных задач. К ним следует отнести прежде всего физическое описание роста дефекта в процессе исследования. Затем перейти к решению задачи представления результатов исследования в виде статистических данных.

Дело в том, что статистические данные по определению фиксируют результаты определения дефектов идентичных статистически независимых объектов. Так называемая схема исследования со случайным цензурованием заключается в том, что исследования проводятся до отказа одного из элементов объекта. Если считать элементом объекта участки длиной равной длине здания или сооружения, то исследования проводятся до первого отказа на каком-то участке. Сложность задачи заключается в том, что такие участки не являются ни идентичными, ни статистически независимыми. Однако путем некоторой перенумерации участков представление испытаний в виде статистических данных возможно. Эта задача решается при помощи теории экстремальных порядковых статистик.

На последнем этапе необходимо сформировать параметр надежности. Предполагается, что функцию распределения начальных дефектов можно описать формулой $(x/\delta)^m$. Квантиль m_p для апостериорного распределения параметра m вполне годится как показатель надежности элементов конструкций промышленных объектов шахт. Чем больше m_p , тем степень живучести объекта выше. Очевидно, имея количественное выражение параметра можно сравнивать различные способы исследования надежности.

Рассмотрим механические модели, лежащие в основе теории распространения трещин [1, 2] - процесс разрушения любого твердого тела требует определенного времени и, как правило, разбивается на две основные стадии: стадию развития повреждений и стадию роста трещин, приводящих к нарушению сплошности тела и в дальнейшем к его полному разрушению [3, 4,]. Предположим, что режим нагружения задан в виде $\sigma(t)$, где (t) - время. Зачастую вместо (t) могут использоваться и другие параметры, например, число циклов нагружения и даже текущая величина деформации. Однако пока это не будет оговорено особо, мы будем считать, что режим нагружения задан как функция времени. Переходя к самим повреждениям, введем их меру M , которую удобно нормировать $0 < M < 1$, причем равенство M единице является условием раз-

рушения. Мере повреждений иногда удается придать определенный физический или механический смысл, однако при рассматриваемом интуитивном подходе к явлению разрушения — это не обязательно.

Текущая величина M является в конечном счете функцией t , а условие разрушения $M=1$ определяет время разрушения t . Для нахождения текущего значения $M(t)$ нужно располагать дифференциальным или интегральным уравнением, устанавливающим зависимость искомой величины от режима нагружения. Такое уравнение принято называть кинетическим уравнением повреждений. Форма этого уравнения задается заранее, а постоянные или функциональные параметры должны подбираться по результатам опытов. Такой метод описания наступления разрушения не единственно возможный, но наиболее простой и универсальный.

Представление результатов исследований элементов конструкций в виде статистических данных. Анализ аварий элементов инженерных конструкций промышленных объектов шахт показывает, что почти все они происходят из-за имеющихся дефектов. Появление дефектов или развитие первоначально имеющихся дефектов происходит в результате разного рода процессов накопления повреждений [5, 6]. Рассмотрение этих процессов приводит к сложным задачам даже в случае одного дефекта. Конструкции промышленных объектов шахт можно отнести к достаточно сложным конструкциям, представляющим собой последовательную систему элементов и соединений. Казалось бы, это обстоятельство должно осложнять задачу. Однако, в связи с тем, что количество элементов велико, появляется возможность применения методов экстремальных порядковых статистик [7].

Последовательная система характеризуется тем, что отказ хотя бы одного элемента приводит к отказу системы.

Распределение Вейбулла является естественным для времени безотказной работы последовательной системы, к которой можно отнести участок элементов конструкций при исследовании. Задача состоит в том, чтобы найти в каждом конкретном случае параметры распределения.

Распределение Вейбулла содержит два параметра [8]: характерное время жизни (c) и параметр формы (α)

$$W_n(t) = 1 - \exp \left[\left(-\frac{t}{c} \right)^\alpha \right]. \quad (1)$$

Если время безотказной работы элемента последовательной системы имеет распределение Вейбулла

$$F(t) = 1 - \exp \left[\left(-\frac{t}{c} \right)^\alpha \right], \quad (2)$$

то предельное распределение безотказной работы системы имеет распределение Вейбулла, причем в точности, а не асимптотически

$$W_n(t) = 1 - [1 - F(t)]^n = 1 - \exp \left[\left(-\frac{t}{c} \right)^\alpha \right]. \quad (3)$$

Отсюда следует, что параметр формы для элемента и системы совпадают, а характерное время для системы равно

$$c_1 = c \cdot n^{-1/\alpha}. \quad (4)$$

Если распределение для элемента не вейбулловское, то к распределению Вейбулла распределение времени безотказной работы системы стремится асимптотически при $n \rightarrow \infty$.

Параметр формы α можно найти из условия

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{F(x \cdot t)}{F(x)} = t^\alpha. \quad (5)$$

При исследовании конструкций предполагаем, что нагрузки на элементы могут быть разными в разных элементах, это, казалось бы, не дает возможности для использования модели последовательной системы, так как элементы системы не находятся в идентичных условиях. Тем не менее, можно поступить следующим образом. Предположим, что в конструкциях (их элементах) нагрузки меняются линейно в зависимости от номера элемента i ($i=1, 2, \dots, n$)

$$\begin{aligned} p_i &= A + i \cdot B; \quad A = \frac{(n \cdot p_1 - p_n)}{(n-1)}; \\ B &= \frac{(p_n - p_1)}{(n-1)}, \end{aligned} \quad (6)$$

где p_1 и p_n - соответственно, начальная и конечные нагрузки в элементе.

Преобразуем $m_k = \int_{0.1} x_k \cdot f_h(x_k) dx_k = \frac{k}{(n+1)}$ к виду

$$p_i = A + (n+1)m_i \cdot B, \quad (7)$$

где m_i - математическое ожидание i -ой порядковой статистики для равномерного распределения, определяемого формулой

Рассмотрим теперь совокупность случайных величин $p(x_{hi})$, определенных формулой

$$p(x_{hi}) = A + (n+1)x_{hi} \cdot B, \quad (8)$$

где x_{hi} - порядковая статистика для равномерного распределения.

Если вернуться от порядковых статистик x_{hi} к исходной совокупности случайных величин, то можно считать, что отдельный элемент как элемент последовательной системы находится под действием случайной нагрузки

$$p = A + (n+1)X \cdot B, \quad (9)$$

где X - случайная величина, равномерно распределенная в интервале $(0 \div 1)$.

Порядок нумерации элементов нас не интересует. В общем случае, когда нагрузка нелинейно изменяется от элемента к элементу в соответствии с некоторой зависимостью

$$p = \phi(x), \quad (10)$$

где аргумент x меняется от нуля до единицы, вводится процедура перехода от порядковых статистик x_{hi}

$$p_i = \phi(x_{hi}). \quad (11)$$

Обосновать возможность такого представления можно путем линеаризации функции случайного аргумента. При этом математическое ожидание и дисперсия выражается в виде

$$E[p_i] = E[\phi(x_{hi})] \approx \phi\left[\frac{i}{(n+1)}\right]. \quad (12)$$

Из последней формулы видно, что если функция ϕ достаточно пологая, то разброс случайной величины p_i около своего математического ожидания будет достаточно мал.

Теперь можно предположить, что элемент последовательной системы, находится под случайной нагрузкой

$$p = \phi(n \cdot x), \quad (13)$$

где x - равномерно распределенная в интервале $(0 \div 1)$ случайная величина.

Асимптотическая формула для функции распределения времени безотказной работы элемента, обобщающая формулу для $F(t)$ дает закон Вейбулла

$$F(t) = 1 - \exp\left[-m\left(\frac{t}{T}\right)^{\frac{2}{3}}\right], \quad (14)$$

где $T = \frac{2\delta}{3A \cdot s}$, s - площадь под кривой напряжения на $(0 \div 1)$.

Теперь результаты исследования конструкций представляются как исследование системы из n элементов, каждый из которых имеет функцию распределения времени безотказной работы $F(t)$. Обработку статистических данных будем выполнять с применением Байесовского метода [9,10].

Смысл байесовского подхода заключается в следующем. Считается, что вся неопределенность сосредоточена в параметре m . Сначала этот параметр имеет априорное распределение $h(m)$. После поступления эмпирической информации I_s , в нашем случае это результаты исследования элементов конструкций, априорное распределение изменяется. Результат изменения - апостериорное распределение, которое мы должны найти. Таким образом, апостериорное распределение параметра, характеризующего величину дефекта, является характеристикой надежности исследований, формирующего надежность инженерных конструкций в эксплуатации.

Этап 1 - составление функции правдоподобия $R(m/I)$. Эмпирическая информация - это многократно цензурированная выборка наработок на отказ элементов инженерных конструкций. Порция информации: L - длина элемента конструкций; D - площадь сечения; δ - толщина элемента; n - количество элементов, длиной ΔL , т.е. $L=n \cdot \Delta L$.

Если в процессе эксплуатации (исследования) произошел отказ, то это информация 1-го типа. Время t_1 - момент отказа, времена жизни других элементов цензурируются.

Если отказа не произошло (информация 2-го типа) и технологическая операция окончилась, т.е. ее прекратили, то цензурируются времена жизни всех элементов.

Учитывая вид функции распределения $F(t)$, функция правдоподобия для информации типа 1 будет иметь вид

$$R(m/I_1) = \frac{2}{3} m \cdot t_1^{-1/3} \cdot T^{2/3} \exp \left[-m \cdot n \left(\frac{t_1}{T} \right)^{2/3} \right]; \quad (15)$$

$$T = \frac{2\delta}{3A \cdot s}; s = \int_{0.1}^{\infty} \sigma(n \cdot x) dx.$$

Функция правдоподобия для информации типа 2 будет иметь вид

$$R(m/I_2) = \exp \left[-m \cdot n \left(\frac{t_2}{T} \right)^{2/3} \right]. \quad (16)$$

При последовательном поступлении информации общая функция правдоподобия есть произведение функций правдоподобия для каждой порции информации.

Этап 2 - нахождение апостериорной плотности $h_1(m/I_3)$. Если априорное распределение $h_1(m)$ есть гамма-распределение и функция правдоподобия $R(m/I_3)$, то апостериорное распределение $h_1(m/I_3)$ также представляет собой гамма-распределение

$$h_1(m/I_3) = e m^{r-1} \cdot v^r \cdot \exp(-v \cdot m) / \Gamma(r). \quad (17)$$

причем, параметры r и v пересчитываются по следующим правилам: для информации типа 1

$$\Rightarrow r = g + 1; v = z + n \left(\frac{t_1}{T} \right)^{2/3}, \quad (18)$$

для информации типа 2

$$\Rightarrow r = g; v = z + n \left(\frac{t_2}{T} \right)^{2/3}. \quad (19)$$

Этап 3 - определение точечной оценки m_0 . Точечная оценка m_0 является апостериорным математическим ожиданием

$$m_0 = m_{аном} = \frac{r}{v}; \quad (20)$$

для информации типа 1

$$\Rightarrow m_0 = (g + 1) \cdot \left[z + n \left(\frac{t_1}{T} \right)^{2/3} \right]^{-1}; \quad (21)$$

для информации типа 2

$$\Rightarrow m_0 = g \cdot \left[z + n \left(\frac{t_2}{T} \right)^{2/3} \right]^{-1}. \quad (22)$$

Этап 4 - определение верхней p -доверительной границы параметра m такой, что

$$P\{m < m_p\} = p. \quad (23)$$

Так как апостериорное распределение $h_1(m/I_3)$ является гамма-распределением, то в этом случае можно получить формулу для m_p в явном виде

$$m_p = \frac{\chi_{p,2r}^2}{2v}, \quad (24)$$

где $\chi_{p,2r}^2$ - квантиль вероятности p для распределения.

Предполагая, что конструктивный элемент последовательной системы, находится под случайной нагрузкой $p=\varphi(n \cdot x)$, где n - число элементов, x - равномерно распределенная в интервале $(0 \div 1)$ случайная величина, можно найти асимптотическую формулу для функции распределения времени безотказной работы элемента

$$F(t) = 1 - \exp\left(-mK^{\frac{2}{3}}\right), \quad (25)$$

где K - коэффициент, зависящий от конструктивных параметров элемента.

Результаты исследования элементов конструкций представляются как исследования системы из n конструктивных элементов, каждый из которых имеет функцию распределения времени безотказной работы, а обработку статистических данных можно выполнять с применением Байесовского метода: вся неопределенность сосредоточена в параметре m . Сначала этот параметр имеет априорное распределение. После поступления эмпирической информации, в нашем случае это результаты исследования элементов конструкции промышленного сооружения, априорное распределение изменяется. Результат изменения - апостериорное распределение, которое находится. Таким образом, апостериорное распределение параметра, характеризующего величину дефекта, является характеристикой надежности выполнения работ при реконструкции промышленного сооружения m_p , формирующего эксплуатационную надежность всей системы.

Величина m_p является показателем надежности выполнения технологической операции по исследованию элемента на прочность. Чем меньше m_p , тем хуже совокупность технологических операций по исследованию данного элемента, т.е. увеличение параметра m_p свидетельствует о формировании более высокого уровня эксплуатационной надежности всей системы элементов. В работе показано как меняется параметр m_p в зависимости от деления системы на участки исследования.

Выводы и перспективы развития направления. Выполнено исследование надежности выполнения работ в процессе проведения технического обследования элементов конструкций: изложена методология оценки и анализа надежности выполнения работ при обследовании и реконструкции промышленных объектов шахт с учетом представления результатов выполнения работ в виде статистических данных с учетом математического моделирования возможных дефектов.

В работе рассмотрена механическая модель распространения дефектов в условиях напряженного состояния конструктивного элемента. Экспериментальные данные по исследованию элементов конструкций промышленных объектов шахт дали возможность определить параметры кинетического уравнения с использованием принципов регрессионного анализа, что в свою очередь позволило получить зависимость, характеризующую промежуток времени до разрушения определенного дефекта при различных значениях, действующих или возникающих нагрузок. Выполненные расчеты позволяют предположить, что выявление дефекта больше зависит от величины начального дефекта, чем от величины нагрузки.

Список литературы

1. Бровко Д. В. Вероятностный подход при независимом многоступенчатом поступлении сигналов о дефектах элементов промышленных объектов на поверхности шахт / Д. В. Бровко, В. В. Хворост. // Гірничий вісник ДВНЗ «Криворізький національний університет». – 2015. – №100. – С. 62–67.
2. Brovko, D. V. System analysis of the accident risk of surface mining objects as a basis for their safe operation. / D. V. Brovko, V. V. Khvorost // Computer Science, Information Technology, Automation, 2016. –No4, p.p. 20-24.
3. Andreev, B. M. Prediction and ensuring the reliability of buildings elements and structures of surface complex at reconstruction. / B. M. Andreev, D. V. Brovko, V. V. Khvorost // Metallurgical and Mining Industry, 2016. –No9. pp. 54-57.
4. Brovko, D. V. Dynamics of structures of mining enterprises as one of the components in determining their technical condition. / D. V. Brovko, V. V. Khvorost // International Scientific Journal Acta Universitatis Pontica Euxinus Special number, 2016.
5. Андрєєв Б. М. Забезпечення надійності поверхневого комплексу методом прогнозування технічного стану елементів будівель і споруд / Б. М. Андрєєв, Д. В. Бровко, В. В. Хворост. // Вісник Криворізького національного університету. – 2016. – №41. – С. 87–92.
6. Globalna aspekty Ekonomii Światowej i Stosunków Międzynarodowych w warunkach niestabilności gospodarczej: monografia Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Praktycznej, Częstochowa, Akademia polonijna, 2016. – 897 s.
7. Бровко Д. В. Дослідження конструкцій металевих арочного кріплення в умовах криворізького залізничного басейну. / Д. В. Бровко, В. В. Хворост. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. - Днепропетровск: ИГТМ НАНУ. – 2015. – №123. – С. 99–106.

8. Бровко Д. В. Визначення надійності шахтних будівель та споруд в умовах обмеженої інформації / Д. В. Бровко, В. В. Хворост. // Щомісячний науковий журнал «Smart and Young». – 2016. – №3. – С. 152-157
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. 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. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск, 2015. – №12. – С. 378–382.
11. Brovko D. V. Qualimetric assessment in calculation of the survivability level of the mine surface objects. / D. V. Brovko, V. V. Khvorost, V. Yu. Tyshchenko //Scientific Bulletin of the National Mining University. - Dnipro, 2018 - No. 4, p.p. 66-71. doi: 10.29202/nvngu/2018-4/14
12. 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
13. Holicky M. Determination of target safety for structures. / M. Holicky, D. Diamantidis, M. Sykora // In: Haukaas, T. (Ed.). Proceedings of the 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, Vancouver, Canada, 2015.
14. Holicky M. On standardization of the reliability basis of structural design. In: Haukaas, T. (Ed.) / M. Holicky, D. Diamantidis, V. Retief Johan, V. Celeste // Proceedings of the 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP12), Vancouver, Canada, July 12-15, 2015
15. Holicky M. 2013. Probabilistic Assessment Of Industrial Heritage Structures: Framework And Case Study. / M. Holicky, M. Sykora // In: WIT Press, Ashurst Lodge, Southampton, UK. - Volume 131. - p. 171 - 182. 2013.

Рукопись поступила в редакцию 05.04.2018

УДК 622.271.4.012.3

Е.А. НЕСМАШНЫЙ, д-р техн. наук, проф., Г.И. ТКАЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.

Криворожский национальный университет

А.В. БОЛОТНИКОВ, канд. техн. наук, Академия горных наук Украины

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУПП УСТУПОВ И БОРТОВ КАРЬЕРА № 3 ЧАО «ЦГОК»

Цель. Целью данной работы является решение актуальной научно-технической задачи, позволяющей оперативно, с минимальными трудозатратами и достаточной точностью оценить степень устойчивости бортов и уступов железорудных карьеров.

Методы исследования. Авторы использовали основные теоретические и вычислительные особенности реализации метода конечных элементов применительно к задаче расчета устойчивости бортов карьера. Для решения этих задач предлагается использовать метод конечных элементов, реализованный в пакете прикладных программ PLAXIS 8.2. Для расчета устойчивости породных откосов с применением PLAXIS 8.2, был использован режим Phi-c reduction (расчет безопасности). В основу данного режима положен расчет устойчивости путем пошагового снижения прочностных характеристик (угол внутреннего трения и коэффициент молекулярного сцепления) породного массива вплоть до момента его разрушения.

Значение коэффициента запаса устойчивости борта карьера и групп уступов определялась как отношение заданных параметров прочности и параметров прочности, соответствующих моменту разрушения породного откоса. Для построения геомеханической схемы расчета, в качестве базовой, использована математическая модель Кулона-Мора, описывающая зависимость касательных напряжений от величины приложенных нормальных напряжений в горной породе обладающей конкретными физико-механическими свойствами. Особое внимание при выполнении геомеханических расчетов уделялось вопросу моделирования слабого обводненного слоя, расположенного в основании группы уступов сооруженных в песчано-глинистых массивах.

Научная новизна. Расширены границы и получили дальнейшее развитие автоматизированные методы расчета устойчивости.

Практическое значение. Расчет степени устойчивости бортов карьера № 3 ЧАО «ЦГОК» выполнен с учетом реального положения горных работ на 01.01.2019г.

Результаты. Полученные результаты расчетов показали, что состояние просчитанных бортов карьера на 01.01.2019г можно считать устойчивым. Также установлены потенциальные опасные участки, для которых были разработаны и предложены практические рекомендации, которые позволят повысить безопасность и эффективность ведения горных работ.

Ключевые слова: метод конечных элементов, борт карьера, геомеханическая схема расчета, коэффициент запаса устойчивости

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-38-44

Проблема и ее связь с практическими задачами. Развитие открытых горных работ на Криворожских карьерах, в современных условиях, характеризуется целым рядом неблагоприятных факторов. Это и значительное увеличение глубины добычных работ, нестабильное финансово-экономическое положение на мировых рынках железорудного сырья, непостоянная законодательная база в сфере налогообложения и финансов.

В этих условиях особенно актуальной становится задача оперативной, с минимальными трудозатратами, оценки степени устойчивости открытых горных выработок геометрические параметры которых практически ежегодно корректируются. Для решения этих задач предлагается использовать метод конечных элементов, реализованный в пакете прикладных программ PLAXIS 8.2.

Анализ исследований и публикаций. Создание в середине прошлого века метода конечных элементов (МКЭ) было обусловлено необходимостью решения задач по определению прочности космических летательных аппаратов и, по-видимому, первой опубликованной работой, в которой был использован МКЭ, была статья [2]. Эта работа вызвала целую серию работ, в которых МКЭ использовался, в основном, для решения задач строительной механики и механики сплошных сред [3]. При этом решение задач с помощью МКЭ сводилось к минимизации некоторого функционала, связанного с рассматриваемыми объектами через их важнейшие физико-механические параметры. В строительной механике в качестве такого функционала используется потенциальная энергия, минимизация которой позволяет свести задачу к системе линейных алгебраических уравнений равновесия. Позднее метод начали применять к задачам, аналитическое решение которых возможно в рамках математической физики (уравнения Лапласа и Пуассона). Одной из первых задач, решенными таким способом, явилась задача распространения тепла в различных средах. Затем метод был применен к разнообразным задачам гидромеханики, электростатики, электродинамики и т.д. Область применения метода конечных элементов расширялась. Было доказано, что возникающие в МКЭ уравнения могут быть получены с помощью частных случаев метода Галеркина или метода наименьших квадратов [4, 5].

Установление этого факта сыграло важную роль в теоретическом обосновании МКЭ, что позволило превратить метод конечных элементов из процедуры специального решения задач строительной механики в общий метод численного решения произвольных дифференциальных уравнений, без необходимости строить для решения задач соответствующие функционалы. Этот прогресс был достигнут за короткий промежуток времени благодаря совершенствованию и развитию компьютерной техники.

Сегодня возможности использования МКЭ очень широки, простираясь от анализа напряжений в простых стержнях, стержневых конструкциях самолетов и автомобилей до расчета таких сложных систем, как атомная электростанция или космические летательные аппараты.

Краткое описание МКЭ. Суть метода следует из его названия. Область, в которой ищется решение дифференциальных уравнений, разбивается на конечное количество подобластей (элементов). В каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции. В простейшем случае это полином первой степени. Вне своего элемента аппроксимирующая функция равна нулю. Значения функций на границах элементов (в узлах) являются решением задачи и заранее неизвестны. Коэффициенты аппроксимирующих функций обычно ищутся из условия равенства значения соседних функций на границах между элементами (в узлах). Затем эти коэффициенты выражаются через значения функций в узлах элементов. Составляется система линейных алгебраических уравнений. Количество уравнений равно количеству неизвестных значений в узлах, на которых ищется решение исходной системы, прямо пропорционально количеству элементов и ограничивается только возможностями ЭВМ. Так как каждый из элементов связан с ограниченным количеством соседних, система линейных алгебраических уравнений имеет разреженный вид, что существенно упрощает её решение.

Если говорить в матричных терминах, то при использовании МКЭ собираются так называемые матрицы жёсткости (или матрица Дирихле) и матрицы масс. Далее на эти матрицы накладываются граничные условия (в условиях Неймана в матрицах не меняется ничего, в условиях Дирихле из матриц вычёркиваются строки и столбцы, соответствующие граничным узлам, так как в силу данных условий эти строки и столбцы обнуляются). Далее составляется система матричных уравнений и решается одним из известных методов. С точки зрения вычислительной

математики идея МКЭ заключается в том, что минимизация функционала вариационной задачи осуществляется по совокупности функций, каждая из которых определена на своей подобласти.

В настоящее время существует достаточно обширный набор программного обеспечения для математических расчетов с использованием МКЭ. Нами для определения значений и закономерностей изменения степени устойчивости групп уступов и бортов карьера №3 ЧАО «ЦГОК» использован программный комплекс PLAXIS 8.2. При этом для решения задач геомеханики, в качестве базовой, использована математическая модель Кулона-Мора, описывающая зависимость касательных напряжений от величины приложенных нормальных напряжений в горной породе обладающей конкретными физико-механическими свойствами.



Рис. 1. Расположение расчетных разрезов на плане карьера № 3 ЧАО «ЦГОК»

Краткая горнотехническая характеристика карьера №3 ЧАО «ЦГОК». Разработка Петровского месторождения производится послойно – уступами сверху вниз с использованием одноковшовых экскаваторов ЕКГ-10 и комбинированного автомобильно-железнодорожного транспорта для транспортирования руды на обогатительную фабрику и вскрыши на внешние отвалы. Вскрыша на горизонтах +105 - +75 м грузится экскаваторами непосредственно в думпкары. Погрузка взорванной скальной горной массы производится экскаваторами ЕКГ-10 в автосамосвалы.

Высота уступов при разработке верхних песчано-глинистых пород (гор. +75...+105 м) принята равной 10 м. Высота уступов по скальным породам (гор. +60 м и ниже) - 15 м, что отвечает рабочим параметрам применяемых экскаваторов ЕКГ-10. Углы откоса на предельном контуре для песчано-глинистых пород приняты равными 35° , для скальных пород – $60-70^{\circ}$. В рабочем положении углы откосов не должны превышать для мягких и скальных пород соответственно 45° и 80° .

При постановке борта в граничное положение допускается отработка спаренных скальных уступов высотой 30м. Бурение и отбойка производится спаренными уступами, а отработка взорванной горной массы производится послойно при высоте уступа 15м. Для повышения устойчивости уступов и групп уступов на граничном контуре или временно нерабочих участков рабочего борта предусмотрена заоткоска уступов методом контурного взрывания наклонных скважин, бурение которых осуществляется станками СБШ-250.

Исходные данные. С геологической точки зрения Петровское железорудное месторождение представлено кристаллическими породами Украинского щита, которые вмещают в себе метаморфические образования железисто-кремнистых формаций докембрия и континентальные отложения, которые почти сплошным, мощностью до 30 м, горизонтальным чехлом перекрывают породы кристаллического фундамента. Практически вся толща этих отложений представлена суглинками и лессовидными суглинками от красно - бурого до палевого цветов, а также глинистыми песками светло-серого, зеленовато-серого, зеленовато-желтого и желтого цветов.

Песчано-глинистые породы верхних горизонтов обводнены. Водоносный горизонт расположен преимущественно на водоразделах и приурочен к низинам лессовидных суглинков, а также к линзам и прослойкам глинистых песков, мощность которых составляет от 1 до 5 м. Питание водоносного горизонта происходит за счет атмосферных осадков, характер и величина которых меняются в зависимости от времени года.

С геомеханической точки зрения все горные породы Петровского железорудного месторождения можно разделить на две основные группы:

слабые породы, представленные в верхней части месторождения (выше отметки +80 м), в состав которых входят суглинки, глины, пески, каолины и т.д.;

скальные породы (ниже отметки +80 м.) в состав которых входят мигматиты, железистые кварциты, гнейсы.

Проанализировав опубликованные данные о прочностных и деформационных свойствах горных пород Петровского месторождения [8, 9] были установлены и приведены в табл. 1 расчетные значения основных физико-механических свойств вскрышных пород данного месторождения, которые и были использованы при геомеханических расчетах с использованием МКЭ.

Изложение выполненных работ. В основу расчета устойчивости уступов, групп уступов и бортов карьера №3 ЧАО «ЦГОК» положено проектное состояние горных работ на карьере, предоставленное ГП «ГПИ «КРИВБАССПРОЕКТ».

Для решения поставленной задачи нами использовались:

вертикальные разрезы на плане карьера № 3, который соответствует положению горных работ на 01.01.2019 г. (см. рис. 1);

геологические схемы залегания горных пород;

физико-механические свойства пород, которые находятся в районе призмы возможного сдвижения (см. табл. 1).

Выбор расположения расчетных разрезов обусловлен необходимостью охватить расчетами все рабочие борта карьера № 3 с одной стороны и разумной достаточностью их объема, с другой.

Для расчета устойчивости породных откосов с применением PLAXIS 8.2, был использован режим Phi-c reduction (расчет безопасности). В основу данного режима положен расчет устойчивости путем пошагового снижения прочностных характеристик (ϕ – угол внутреннего трения; C – коэффициент молекулярного сцепления) породного массива вплоть до момента разрушения породного откоса. Отношение заданных параметров прочности и параметры прочности, соответствующие моменту разрушения породного откоса и определяли величину коэффициента запаса устойчивости. Сопоставление расчетных значений коэффициента запаса устойчивости с его нормативными значениями позволяло судить о соответствии существующих геометрических параметров открытых горных выработок требованиям правил безопасности [10, 11, 14].

Таблица 1

Основные физико-механические свойства вскрышных пород карьера №3 ЧАО «ЦГОК»

Название	Объёмный вес, Н/м ³	Модуль Юнга, Па	Коэффициент Пуассона, доли. ед.	Сцепление кПа	Угол внутреннего трения, град.
Отвалы	24000	$1 \cdot 10^7$	0,2	36	16
Наносы	18000	$2,5 \cdot 10^7$	0,2	50	18
Скала	26000	$4 \cdot 10^7$	0,3	350	23
Кварциты	32000	$10 \cdot 10^7$	0,3	350	32
Слабый слой 1	18000	$1 \cdot 10^7$	0,1	10	10
Слабый слой 2	18000	$1 \cdot 10^7$	0,1	14	12

Полученные результаты. При выполнении вычислений сначала составлялась расчетная схема данного разреза борта карьера или группы уступов с учетом геологического строения породного массива и геометрических параметров данной открытой горной выработки, по состоянию на 01.01.2019 г, с нанесенными на этой схеме узловыми точками (см. рис. 2 а). Визуально, как иллюстрация, результаты выполненных с помощью метода конечных элементов расчетов, реализованных в пакете прикладных программ PLAXIS 8.2, приведены на рис. 2 б.

Особое внимание при выполнении геомеханических расчетов уделялось вопросу моделирования слабого обводненного слоя, расположенного в основании группы уступов сооруженных в песчано-глинистых массивах (см. рис. 3). При этом моделировались ситуации когда вследствие обводнения, вызванного сезонными атмосферными осадками, прочность песчано-глинистых пород снижается до следующих величин:

1 вариант: угол внутреннего трения – 10^0 , молекулярное сцепление 10 кПа;

2 вариант: угол внутреннего трения – 12^0 , молекулярное сцепление 14 кПа.

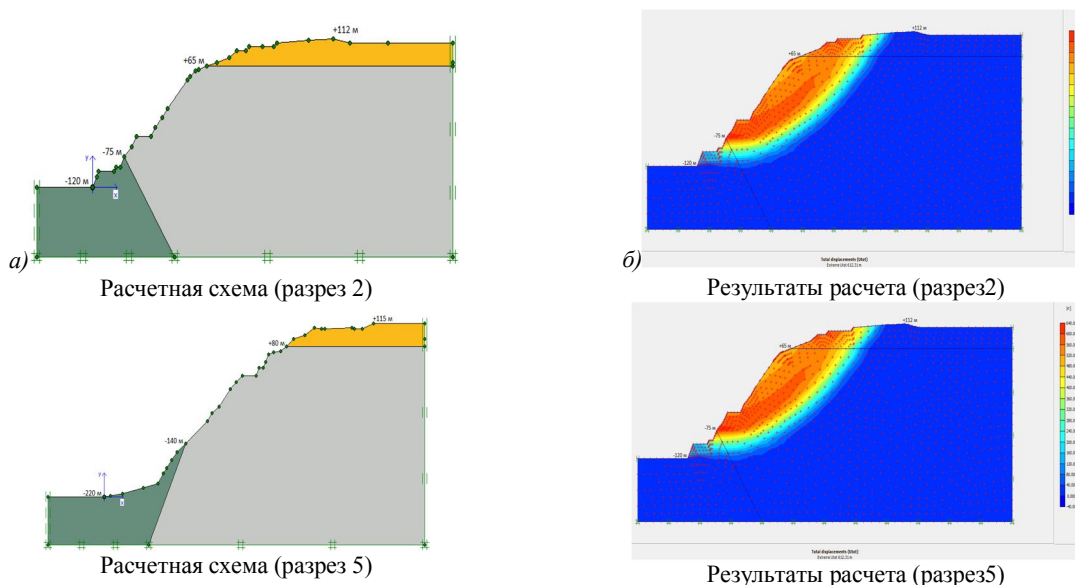


Рис. 2. Применение МКЭ для расчета степени устойчивости бортов карьера №3

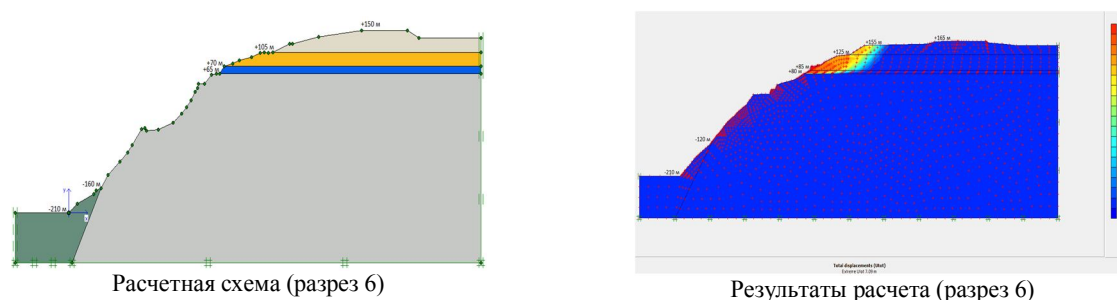


Рис. 3. Применение МКЭ при моделировании слабого обводненного слоя

В обобщенном виде результаты геомеханических расчетов, выполненных с помощью пакета прикладных программ PLAXIS 8.2, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов устойчивости групп уступов и бортов, карьера №3 ЧАО «ЦГОК»
(по состоянию на 01.01.2019 г.)

№ разреза	Горизонт, м		Высота, м	Угол наклона, град.	КЗУ, доли. ед.
1	От +142	До +122	20	63	1,19
2	От +110	До -120	230	28	1,85
3	От +110	До -120	230	26	1,88
4	От +155	До -210	365	30	1,50
5	От +105	До -195	300	38	1,42
6	От +150	До -210	360	26	1,55
7	От +145	До -135	280	23	1,90
Моделирование слабого обводненного слоя (угол внутреннего трения – 10° , сцепление 10 кПа)					
1	От +90	До +70	20	27	0,98
3	От +75	До +65	10	32	1,47
4	От +95	До +80	15	26	0,97
6	От +90	До +65	25	28	0,95
7	От +105	До +85	20	21	1,52
Моделирование слабого обводненного слоя (угол внутреннего трения – 12° , сцепление 14 кПа)					
1	От +142	До +122	20	63	1,16
4	От +155	До +80	75	21	1,22
6	От +90	До +60	30	23	1,26

Выводы и направления дальнейших исследований. Применение МКЭ, в частности программного комплекса PLAXIS 8.2, для определения степени устойчивости открытых горных выработок позволяет значительно уменьшить трудозатраты на проведение такого рода расче-

тов, а их результаты при определении коэффициента запаса устойчивости практически не отличаются от результатов, которые получены при использовании метода алгебраического суммирования сил по криволинейной поверхности сдвижения.

Результаты выполненных геомеханических расчетов, с помощью МКЭ, показали, что текущее состояние степени устойчивости групп уступов и бортов карьера №3 ЧАО «ЦГОК», можно охарактеризовать как удовлетворительное, т.к. полученные значения коэффициентов запаса устойчивости вышеуказанных горных выработок находятся в пределах 1,19 – 1,90, что соответствует нормативным требованиям.

Наименьшее значение коэффициента запаса устойчивости ($n_z = 1,19$) получено для групп уступов северного борта карьера сооруженных в глинистой толще, а именно сдвоенного уступа в горизонтах +122 +144м. При этом необходимо иметь в виду, что степень устойчивости данного объекта может значительно снизиться вследствие дальнейшего обводнения песчано-глинистых пород.

Математическое моделирование процесса обводнения песчано-глинистых пород на верхних горизонтах карьера №3 ЧАО «ЦГОК» и снижение их прочностных характеристик (до уровня: *угол внутреннего трения – 10-12°; сцепление 10-14 кПа*) показывает, что в этом случае будет значительное снижение коэффициента запаса устойчивости уступов и групп уступов. В дальнейшем, как следствие, возможно развитие значительных деформационных процессов на этих горизонтах. Наиболее опасный из рассматриваемых участков – группа уступов на горизонтах +80...+155 м юго-западного борта (см. разрез 4 на рис. 1).

Принимая во внимания выше изложенное, было рекомендовано:

проводить систематические визуальные осмотры верхних уступов, сложенных песчано-глинистыми породами, южного, юго-западного и северного бортов карьера №3) на предмет выявления видимых признаков выхода грунтовых вод, оплывин, оползней и т.п;

обеспечить постоянный и эффективный дренаж водопритоков на указанных участках.

Список литературы

1. Несмашний Е.А. и др. Обоснование оптимальных параметров открытых горных выработок на Криворожских карьерах. - Кривой Рог, Изд-во «Дионис», - 2012, -398 с.: ил.
2. Turner M.J., Clough R.W., Martin H.C., Topp L.J., Stiffness and Deflection Analysis Complex Structures. J. Aeronaut Sci. 23, 805-824, 1956.
3. Melosh R.J. Basis for Derivation of Matrices for the Direct Stiffness Method. J.Am.Inst. for Aeronautics and Astronautics, 1, 1631-1637, 1965.
4. Szabo B.H., Lee G.C. Derivation of Stiffness Matrices for Problems in Plane Elasticity by Galerkin's Method. Intern. J. of Numerical Methods in Engineering, 1, 301-310, 1969
5. Zienkiewicz O.C. Finite Elements in the Solution of Field Problems. The Engineer, 507-570, 1971.
6. Зенкевич О., Чанг И. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред.- М.: Недра, 1974.- 240с.
7. Цыбенко А.С., Ващенко Н.Г., Кришук Н.Г. Алгоритмы и программы автоматической подготовки и обработки информации в методике конечных элементов.- Киев: КПИ, 1983.
8. Ткаченко Г. И. Совершенствование методики оценки устойчивости откосов на карьерах // II Всеукраїнська науково-практична конференція „Україна наукова 2002” (10 – 24 травня 2002 року): – Дніпропетровськ, 2002. - Т.13. - С.33.
9. Прогноз устойчивости и оптимизация параметров бортов глубоких карьеров / С.З. Полищук, В.Т. Лашко, В.Н. Кучерский и др.- Днепропетровск: Поліграфіст, 2001. - 371 с.
10. Методичні вказівки з визначення оптимальних кутів нахилу бортів, укосів уступів і відвалів залізничних та флюсових кар'єрів // Під ред. проф. А.Г.Шапаря // -К: - 2009. – 201с.
11. Несмашний С.О., Болотніков А.В., Ткаченко Г.І. Расчет устойчивости участка восточного борта карьера ПАО «ИнГОК» в песчано-глинистой толще. Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: КНУ. - 2016.- № 41.- С. 64-69.
12. Исследование устойчивости бортов карьеров (№ 1,2,3) ЦГОКа до глубины отработки 300-500 м и разработка рекомендаций по уточнению параметров откосов с учетом динамического воздействия взрывов // Отчет по НИР // КО ВЮГЕМ, Кривой Рог, 1978.
13. ЧАО «ЦГОК» Разработка и вскрытие глубоких горизонтов карьера № 3 (III очередь углубки карьера № 3). Проект Пояснительная записка 1001-9200-ПЗ. Том 1. ДП «ДП «Кривбаспроект» 2011 г.
14. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987, - 221 с..
15. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. – Київ, МПТУ, 2008. -702 с.
16. Несмашний Е.А. Оптимизация геометрических параметров открытых горных выработок. Кривой Рог, Минерал. 1999. -120 с.

17. Nesmashnyi E. Calculating and rationalising the relativity norms for determining the slopes of quarry flanks. Soviet mining journal. -1987. -vol. 1, num. 3, -Oxonian Press, India. -p. 32-38.

18. Nesmashnij E.A., Tkachenko G.I. Stability evaluation of jsc "YUGOK" eastern pit wall taking into account seismic mass blasting effect. Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. - Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», - 2017. - № 44.- С.27-32.

19. Fanti D., Luzi G., Tarchi D., Landslides monitoring by using ground-based SAR interferometer //Eng.Geology.– 2003.-Vol.68,№1-2.-P.15- 30.

Рукопись поступила в редакцию 09.04.2018

УДК 66-03

О. А. ЖУЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., А. П. КОРОТИНСЬКИЙ, аспірант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗРІДЖЕННЯ НА ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ ПРОЦЕСУ ВИПАЛЮВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ ВИРОБІВ НА ЕТАПІ КАМЕРА «ПІД ВОГНЕМ»

Мета. Відомо, що якість кінцевої продукції випалювання вуглецевих виробів залежить від багатьох факторів, найважливішим з них є температурний режим. Дослідження зв'язку температурного поля печі в залежності від технологічних параметрів, та їх раціональне використання дозволяє досягти меншого виходу бракованої продукції. Тому є важливим моделювання цих процесів з врахуванням максимальної кількості факторів впливу, яке дозволить мінімізувати час та вартість виробництва готової продукції. Саме тому, дослідження температурних полів, а відповідно особливостей температурних режимів заготовок при впливі розрідження на температурний режим роботи камери печі випалювання вуглецевих виробів на етапі «під вогнем», що дозволить мінімізувати перепад температур по заготовкам та є важливим етапом розробки системи керування даним процесом, яка повинна забезпечувати вихід готової продукції відповідної якості.

Методи дослідження. У якості методу дослідження застосовувався метод математичного моделювання на базі моделі, що побудована на основі осереднених за Рейнольдсом рівняннях Нав'є-Стокса (RANS). На основі чисельного моделювання проведено дослідження впливу розрідження на температурний режим роботи камери печі випалювання вуглецевих виробів на етапі «під вогнем». Дослідження впливу розрідження проводиться шляхом порівняння температурних режимів камери печі при різних режимах роботи печі, а саме при розрідженні 50 Па та 100 Па.

Наукова новизна. Виявлено закономірності зміни середнього значення перепаду температур по заготовкам при різних режимах роботи печі. Основну увагу дослідження було приділено питанням однорідності температурного поля заготовок, що суттєво впливає на їх якість.

Практична значимість. Отримані результати зміни максимальних та мінімальних температур по кожній із заготовок можуть бути використані при розробці вдосконаленого регламенту ведення кампанії випалювання. Проведене дослідження спрямоване на підвищення ефективності процесу випалювання вуглецевих виробів.

Результати. Результати проведеного чисельного моделювання засвідчили суттєвий вплив розрідження на температурний режим процесу випалювання на етапі «під вогнем». Збільшення розрідження призводить до зменшення абсолютних значень температур по всьому об'єму печі та одночасно призводить до зменшення величин перепадів температур у заготовках, які випалюються.

Ключові слова: випалювання, вуглецеві вироби, моделювання, розрідження, температурні поля, камера «під вогнем».

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-44-49

Випалювання у вуглехімії – процес, в якому вуглисті зв'язуючі матеріали, зазвичай кам'яновугільний смоляний пек або нафтовий пек, як частина сформованої вугільної суміші, перетворюється у вуглець, даючи при повільному нагріванні тверде вуглецеве тіло [1]. На сьогоднішній день вуглецеві вироби, такі як графітовані електроди, ніпелі, вуглецеві блоки, знаходять широке застосування у різних галузях промисловості - металургійній, хімічній, металообробній, машинобудівній, нафтохімічній та інших. Одним з основних технологічних процесів у виробництві вуглецевих виробів є процес їх випалювання, що проводиться у печах камерного типу.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. З технології виробництва вуглеграфітових виробів відомо, що кількість повітря, яке подається на горіння палива, визначається в основному, розрідженням у печі, а також, що розрідження повинно бути таким, щоб гази, які протягуються через піч, могли досягти потрібної швидкості для подолання сили

тертя при проходженні через ряд камер та всі борова. Крім того, газу, що відходять, віддаючи тепло у камерах, покидають піч з порівняно низькою температурою, через що природна тяга може виявитись недостатньою. Для нормальної роботи печі потрібне штучне розрідження. Розрідження безпосередньо за піччю повинно бути не менше $60 \cdot 9,80665 \text{ Па}$ [2].

Оскільки якість кінцевої продукції процесу випалювання, залежить від температурного режиму ведення процесу, то дослідження впливу розрідження як керувального технологічного параметру на температурні поля, що формуються під час кампанії, є важливою науково-технічною задачею.

Як відомо [3], процес випалювання вуглецевих виробів проходить у три стадії: нагрівання, «під вогнем» та охолодження. Метою даного дослідження є визначення впливу розрідження на температурні поля печі випалювання на етапі камера «під вогнем».

Аналіз досліджень і публікацій. Результати досліджень теплофізичних процесів, що відбуваються під час випалювання вуглецевих виробів, наведено у роботах [4–9]. В них проведено дослідження впливу на процес випалювання таких факторів як: коефіцієнта поглинання димових газів, ступеня чорноти газових каналів, співвідношення між радіаційним і конвективним теплообміном, комбінованої пересипки, схеми завантаження камери печі, геометрії внутрішньої поверхні склепіння, виду наповнювача та його гранулометричного складу, швидкості нагріву, кінцевої температури випалювання, конструкції камери печі на процес випалювання електродної продукції у багатокамерних печах випалювання.

У наведених вище роботах не розглядається етап камера «під вогнем» як окрема складова кампанії випалювання та, відповідно, не розглядаються впливи керувальних технологічних параметрів на температурний режим процесу.

Постановка задачі. Задачею статті є дослідження впливу розрідження на загальний розподіл температур процесу випалювання вуглецевих виробів на етапі камера «під вогнем», а також на динаміку температур та перепадів температур безпосередньо виробів, що випалюються.

Викладення матеріалу та результати. Проведення вказаного вище дослідження потребує об'ємного промислового експерименту, що практично неможливо в основному з двох причин. По-перше, він призводить до значних додаткових фінансових затрат і, по-друге, не гарантує безпекові умови виробництва.

У зв'язку з цим, єдиною альтернативою виступає застосування методу математичного моделювання, що і використовується у даному дослідженні на основі моделі [10]. Дана математична модель побудована на основі осереднених за Рейнольдсем рівняннях Нав'є-Стокса (RANS) в наближенні $k - \epsilon$ моделі з урахуванням стискання рідини [11] та включає у себе наступні рівняння:

- нерозривності;
- збереження кількості руху;
- транспортування хімічних компонентів реакції горіння;
- енергії в ентальпійному вигляді;
- турбулентної кінетичної енергії та швидкості її дисипації [12].

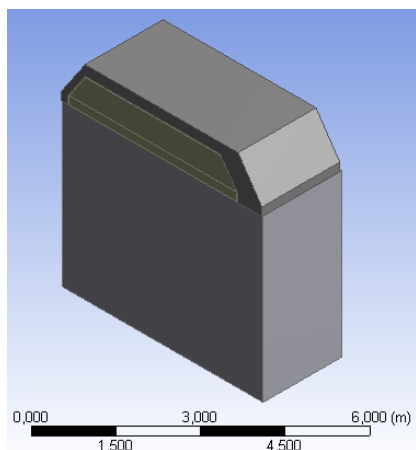


Рис. 1. Геометрія касети печі випалювання

У даному дослідженні розглядається одна із камер багатокамерної кільцевої закритої печі випалювання типу Рідгаммер [13,14], в яку завантажено 5 заготовок діаметрами 700 мм та висотою 2100 мм. Прийнято, що початкова температура всіх складових касети печі складає 1273 К. Температура повітря – 300 К.

Досліджувана касета печі випалювання з розміром $3,8 \times 0,76 \times 4,05 \text{ м}$ має геометрію, що наведена на рис. 1.

Прийнято, що тривалість процесу випалювання 480 год., число камер на охолодженні – 1, число камер під вогнем – 1, число камер на підігріві димовими газами – 4. Темп випалювання складає 96 год. Нумерація заготовок зліва направо (починається від вогневого колодязя).

Для подальшого чисельного моделювання прийнято наведені у табл. 1-4 фізичні властивості матеріалів печі випалювання та її завантаження відповідно до [9,15-16].

Таблиця 1

Теплофізичні властивості вогнетривкого шамоту

T, K	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p, \text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$
273	1900	675	0,84
323	1900	797	-
373	1900	877	-
423	1900	933	-
473	1900	975	-
523	1900	1008	0,99
773	1900	1111	1,14
1023	1900	1176	1,29
1273	1900	1230	1,44
1523	1900	1279	1,59

Таблиця 2

Теплофізичні властивості матеріалу заготовок

T, K	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p, \text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$
273	1635	690	8
400	1635	893	-
500	1635	1160	8,3
600	1635	1315	-
700	1635	1423	-
800	1635	1501	8,5
900	1635	1566	-
1000	1635	1620	8,8
1100	1635	1669	-
1200	1635	1710	9,3
1400	1635	1790	-

Таблиця 3

Теплофізичні властивості теплоізоляційної шихти

T, K	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p, \text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$
273	800	690	0,35
400	800	893	-
500	800	1160	-
600	800	1315	-
700	800	1423	-
800	800	1501	0,73
900	800	1566	-
1000	800	1620	-
1100	800	1669	-
1200	800	1710	1,25
1400	800	1790	-

Таблиця 4

Теплофізичні властивості повітря

T, K	$C_p, \text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$
273	1005	0,0244
373	1009	0,0321
473	1026	0,0393
573	1047	0,046
673	1068	0,0521
773	1093	0,0574
873	1114	0,0622
973	1135	0,0671
1073	1156	0,0718
1173	1172	0,0763
1273	1185	0,0807
1373	1197	0,085
1473	1210	0,0915

Дослідження проводилось для двох значень розрідження – 50 Па та 100 Па. Результати моделювання температурних полів камери, пересипки та заготовок представлені на рис. 2-4.

Наприкінці випалювання у режимі «камера під вогнем» спостерігаються явно виражені холодна та гаряча області печі (рис. 2). Найвищою є температура стінок вогневого колодязя 1651 K при розрідженні 50 Па та 1517 K при розрідженні 100 Па, мінімальною є температура протилежної стінки 747,84 K та 663,69 K відповідно. Перепад температури по всьому об'ємі камери печі сягає 903,16 K та 853,31 K відповідно.

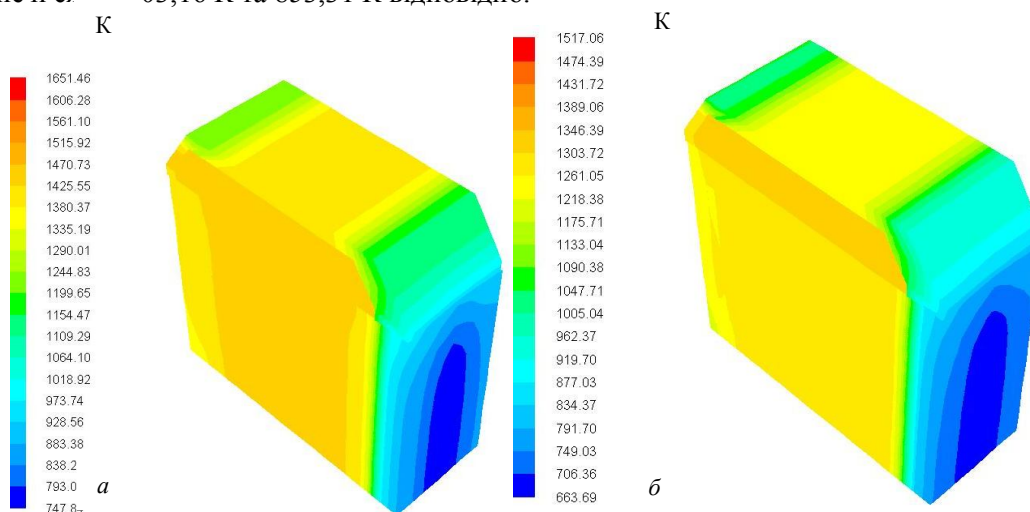


Рис. 2. Температурні поля камери печі при розрідженні 50 Па (а) та 100 Па (б)

Максимальна та мінімальна температури по всьому об'ємові пересипки становлять 1429 К та 950 К при розрідженні 50 Па і 1295 К та 807 К при розрідженні 100 Па. Максимальний перепад температур по пересипці складає 479 К та 488 К відповідно. У температурному полі пересипки прослідковується наявність значної холодної та підсклепінчатої області (рис. 3).

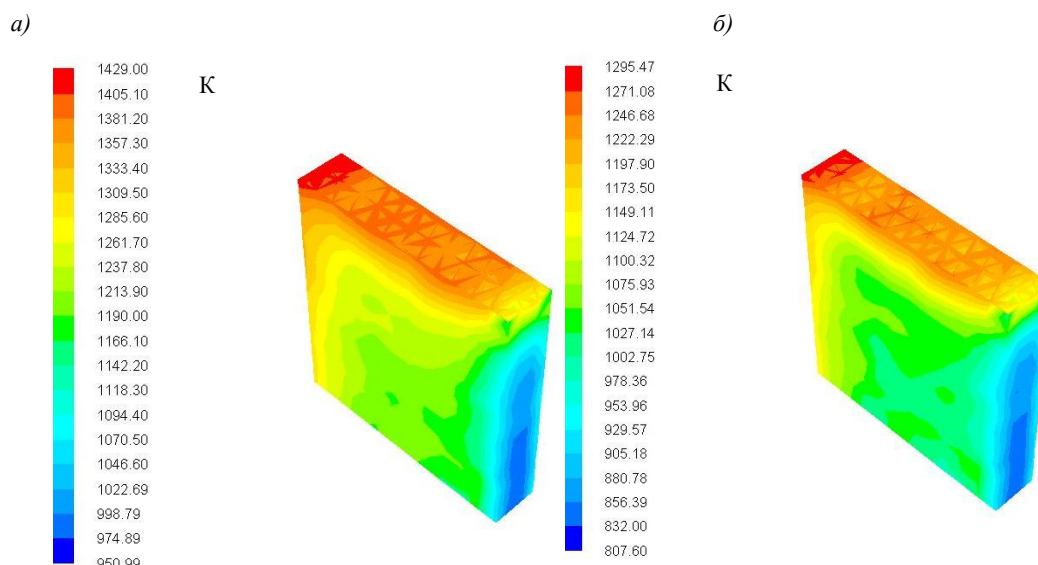


Рис. 3. Температурне поле пересипки при розрідженні 50 Па (а) та 100 Па (б)

Температура заготовок (рис. 4) зменшується зверху до низу печі, що пояснюється зменшенням температури димових газів, при проходженні газового тракту камери печі. Має місце перепад температур від більш теплого боку печі до більш холодного. Температура заготовок приймає значення 982-1310 К при розрідженні 50 Па, та 830-1155 К при розрідженні 100 Па, максимальний перепад температур по заготовкам становить 328 К та 325 К відповідно.

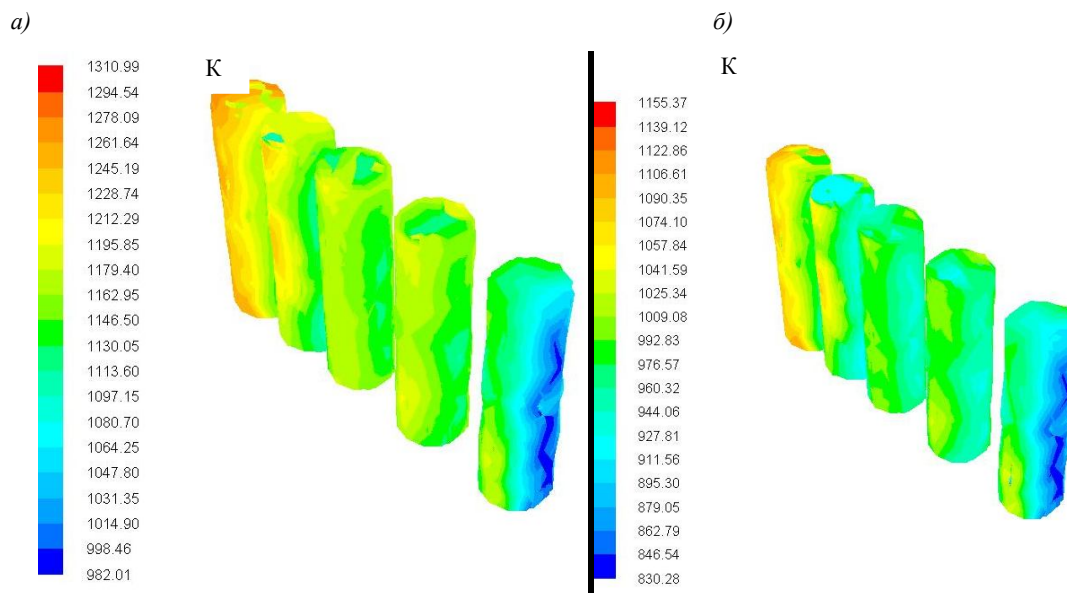


Рис. 4. Температурні поля заготовок при розрідженні 50 Па (а) та 100 Па (б)

Графіки зміни мінімальної та максимальної температур у заготовках протягом всієї кампанії випалювання представлені на рис. 5-6. Найбільш інтенсивне нагрівання відбувається заготовки 1, а найбільш повільне - заготовки 5. При збільшеному розрідженні графіки зміни температур по заготовкам проходять ближче один до одного, ніж при розрідженні 50 Па, що говорить про більш однорідне їх нагрівання, тобто про позитивний вплив збільшеного розрідження.

При збільшенні розрідження температури по всьому об'ємові печі зменшуються.

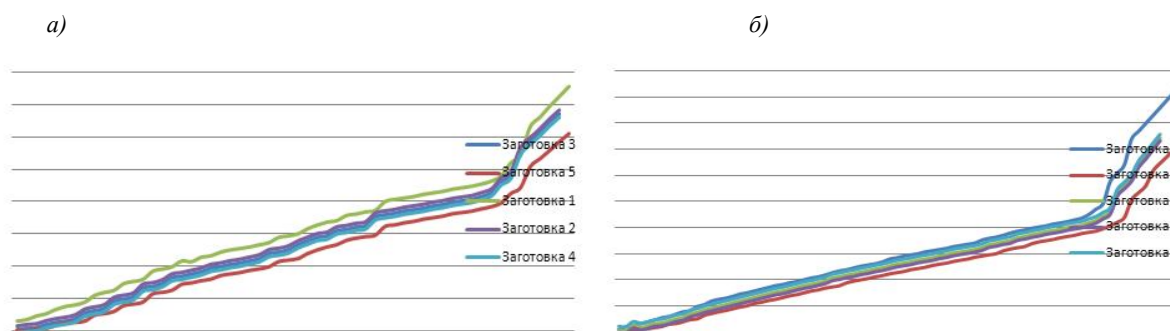


Рис. 5. Графік зміни мінімальної (а) та максимальної (б) температури по заготовкам при розрідженні 50 Па

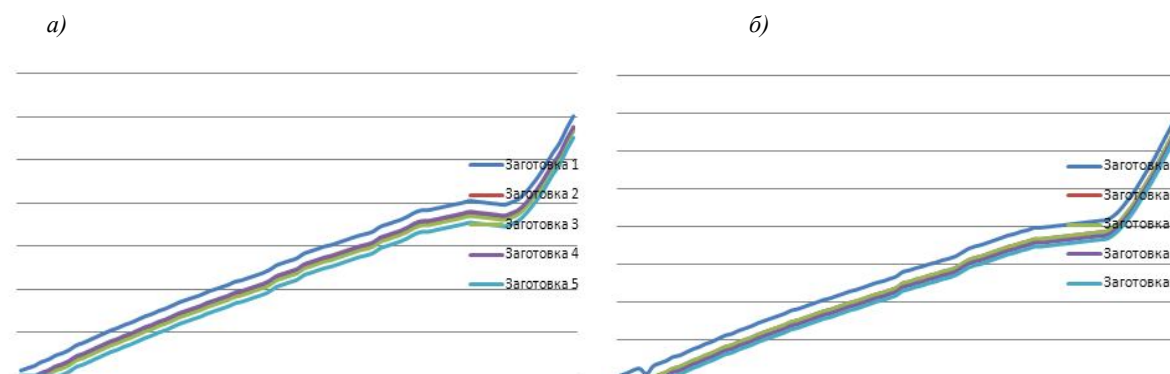


Рис. 6. Графік зміни мінімальної (а) та максимальної (б) температури по заготовкам при розрідженні 100 Па

На рис.7 наведено гістограми перепаду температур по кожній з заготовок. З представлених результатів видно, що збільшення розрідження призводить до зменшення перепаду температур.

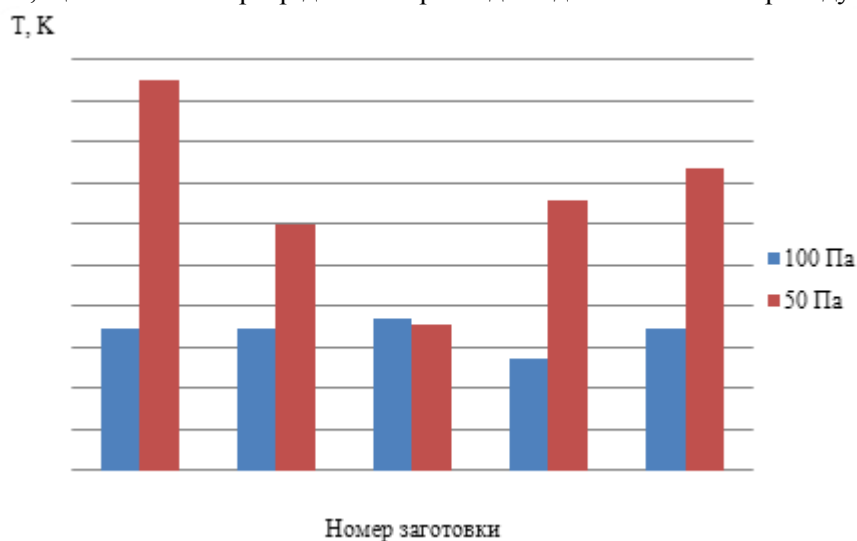


Рис. 7. Гістограми перепаду температур по заготовкам при розрідженні 50 та 100 Па

Висновки та напрямки подальших досліджень. Проведено дослідження впливу розрідження на температурний режим камери «під вогнем» у процесі випалювання вуглецевих виробів у цілому. Особливу увагу приділено динаміці температур та перепадів температур виробів, що випалюються.

Показано, що зміна розрідження суттєво впливає на температурні поля процесу випалювання. Збільшення розрідження призводить до зменшення абсолютних значень температур по всьому об'ємові печі та одночасно призводить до зменшення величин перепадів температур у заготовках, які випалюються.

Подальші дослідження мають стосуватися етапів нагрівання та охолодження процесу випалювання вуглецевих виробів.

Список літератури

1. Глосарій термінів з хімії // **Й. Опейда, О. Швайка**. Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Донецький національний університет. – Донецьк: Вебер, 2008. – 758 с. – ISBN 978-966-335-206-0.
2. **Чалых Е.Ф., Пашенкова Л.Ф.** Печи электродных заводов Учебное пособие. - Москва: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1983. - 76 с.
3. **Panov Ye. N., Kutuzov S. V., Karvatsky A. Ya., Shilovich I. L., Vasilchenko G. N., Shilovich T. B., Leleka S. V., Danilenko S. V., Pulinets I. V., Chirka T. V., Lazarev T. V.** Power saving at production of electrode products. XVII Intern. Conf. «Aluminium of Siberia», V Conference «Metallurgy of Non-Ferrous and Rare Metals», VII Symposium «Gold of Siberia», (Krasnoyarsk, Russia, Sept. 7–9, 2011) : Proceedings of the Intern. Congress, Krasnoyarsk : «Verso», 2011. — P. 412–423.
4. Совершенствование регламентов обжига с учетом динамики газовыделения обжигаемых заготовок / **А.Я. Карвацкий, С.В. Лелека, И.В. Пулинец и др.** // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 6/5 (54). – С. 42–45.
5. Power saving at production of electrode products / **Ye.N. Panov, S.V. Kutuzov, A.Ya. Karvatsky and others** // XVII Intern. Conf. «Aluminium of Siberia», V Conference «Metallurgy of Non-Ferrous and Rare Metals», VII Symposium «Gold of Siberia». – 7–9 Sept., 2011. – Krasnoyarsk, Russia : Proceedings of the Intern. Congress ; Krasnoyarsk : «Verso», 2011. – Pp. 412–423.
6. **Шилович И.Л.** Расчетно-экспериментальное исследование процесса обжига углеграфитовых изделий в многокамерных печах / И.Л. Шилович, И.В. Пулинец // 36. Тез доп. XIII Міжн. науково-практ. конф. студ., асп. та мол. вчених «Екологія. Людина. Суспільство». – 19–23 травня 2010. – Київ : НТУУ «КПІ». – С. 244–245.
7. Study on Anode Baking Parameters in Open-Top and Closed-Type Ring Furnaces / **B.Borzu, A.Mohesn, M.Siahoui, B.Nabi, S.Saeb** // Light Metals. – 2013. – Pp 1145–1150.
8. **Левашова А.И.** Химическая технология углеродных материалов : учеб. пособие / А.И. Левашова, А.В. Кравцов. – Томск : ТПУ, 2008. – 112 с.
9. Теплообмен в многокамерных печах обжига углеграфитовых изделий / **И.В. Пулинец, Е.Н. Панов, А.Я. Карвацкий и др.** – Київ : НТУУ «КПІ», 2014.
10. **Карвацкий А.Я.** Математична модель тепло-гідродинамічного стану багатокammerної печі при випалюванні електродних заготовок / А.Я. Карвацкий, І.В. Пулінець, І.Л. Шилович // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 1 (4). – С. 33–37.
11. **Шибалов С. Н.** Совершенствование тепловых процессов с целью повышения качества обжига заготовок из углеграфитовых материалов: автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук : спец. 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов» / С. Н. Шибалов. — М., 2004. — 30 с.
12. **Gerald F. Covanec.** Century Aluminium of West Virginia, AIME / F. Covanec. Gerald // Light Metals. — 2000. — P. 573—578.
13. **Чалых Е. Ф.** Оборудование электродных заводов : учеб. Пособие [для вузов] / Е. Ф. Чалых. – М. : Металлургия, 1990. – 238 с.
14. **Санников А. К.** Производство электродной продукции [Текст] / А. К. Санников, А. Б. Сомов, В. В. Ключников и др. – М.: Металлургия,
15. **Михеев М.А., Михеева И.М.** Основы теплопередачи. «Энергия» 1977
16. **Богданов С.Н., Бурцев С.И., Иванов О.П., Куприянова А.В.** Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ: Справ./ Под ред. С.Н. Богданова. 4-е изд., перераб. и доп. — СПб.: СПбГАХИТ, 1999.- 320 с.

Рукопис подано до редакції 17.04.2018

УДК 622.267.5

В.А. ЧЕРЕДНИК, аспірантка

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

ВУГІЛЬНА ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ У РОЗРІЗІ СВІТОВИХ КЛІМАТИЧНИХ ЦІЛЕЙ

Мета. Метою роботи є комплексне дослідження сучасного стану вугільної промисловості України під час імплементації світових практик у сфері запобігання зміні клімату. Даний процес представить нові можливості для пошуку та впровадження інноваційних розробок у галузі видобутку, переробки викопних видів палива, виробництва, трансформації, постачання і споживання енергії, що зумовлює потребу у формуванні нової енергетичної політики.

Методи дослідження. Використовувався метод аналізу та узагальнення інформації щодо загальносвітових тенденцій розвитку паливно-енергетичного комплексу та впровадження їх відповідно до «Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Одним з таких напрямків розвитку є добування шахтного метану вугільних родовищ, що дозволить вирішити одночасно кілька завдань: використовувати видобутий метан для вироблення електричної та теплової енергії; зменшити викиди метану в атмосферу, що

© Чередник В.А., 2018

відповідає світовим заходам боротьби зі зміною клімату; знизити обсяг виділення метану в гірничі виробки і тим самим підвищити безпеку і ефективність видобутку вугілля.

Наукова новизна. Поставлені наукові задачі, що необхідно вирішити для оцінки колекторських властивостей газозносного породного масиву, що підроблюється.

Практична значимість дослідження, що планується виконати, дозволить розробити методику пошуку зон активного скупчення метану.

Результати. Сформульовані мета, методи і основні задачі дослідження технологій та технологічних засобів управління процесами видобування метану задля промислового використання та збільшення безпеки видобування вугілля. Представлені матеріали, які підтверджують, що метан представляє не тільки основну небезпеку у шахтах та глобальну екологічну шкоду, але у той самий час виступає у якості високоякісного джерела палива та хімічної сировини. Доведено, що раціональне використання шахтного метану є важливим кроком з досягнення кліматичних та екологічних цілей України.

Ключові слова: вугільна промисловість, Паризька угода, парникові гази, шахтний метан.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-49-55

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Стратегічним завданням для України є набуття енергетичної незалежності, яка передбачає комплекс заходів, що відповідають основним орієнтирам розвитку паливно-енергетичного комплексу згідно до «Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Це ставить перед Україною нові економічні та технологічні виклики, але водночас відкриває нові можливості для пошуку та впровадження інноваційних розробок у галузі видобутку, переробки викопних видів палива, виробництва, трансформації, постачання і споживання енергії, що зумовлює потребу у формуванні нової енергетичної політики держави [1].

Україна використовує для власних потреб різноманітні джерела енергії, такі як нафта, природний газ, вугілля, атомна і гідроенергія, енергія вітру і сонця тощо. Традиційно найбільш затребуваними в Україні наразі є викопні ресурси: природний газ і вугілля, які сумарно становлять понад 50 % вітчизняного енергетичного балансу.

Згідно з даними Державної служби статистики України, структура загального первинного постачання енергоресурсів за останні 10 років зазнала суттєвих змін. Частка природного газу зменшилась з 55,59 до 24,55 млн т н.е. (на 56%), вугілля на 40% (з 42,66 до 25,7 млн т н.е.) [2]. Згідно до «Енергетичної стратегії України до 2035 року» прогнозується збільшення частки відновлюваної енергетики до рівня 12% від загальної первинної поставки енергії до 2020 року (є сумою виробництва, імпорту і експорту енергоресурсів в країні) і до 25% до 2035 року [1]. Наразі частка відновлювальних джерел у паливно-енергетичному комплексі складає 4,5 %, що підтверджує наміри України, щодо скорочення частки викопних ресурсів у зв'язку зі світовими заходами щодо боротьби за зміною клімату.

Однак, на даному етапі немає можливості відмовитися від широкого спектру викопних вуглеводневих ресурсів, які використовуються для задоволення потреб енергетики, коксохімії і т.і. Крім того, стійкість системи, в тому числі енергетичної, залежить від стійкості її складових. Тому диверсифікація енергоресурсів та їх постачальників дозволить забезпечити стійкість паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) проти всіх зовнішніх та внутрішніх чинників.

Вугілля є важливою складовою процесу та незамінним ресурсом, який може гарантувати енергетичну безпеку. Прогнозовані запаси вугілля в Україні складають за різними оцінками від 100 до 117, 5 млрд т, у тому числі розвідані – 56 млрд т [3]. В основному це кам'яне вугілля та антрацити різних видів. Їх запаси зосереджені в Донецькому та Львівсько-Волинському басейнах і складають 94,8% від загальних запасів вугілля України, у тому числі, в Донецькому басейні – 92,4% і у Львівсько-Волинському - 2,4%, частка бурого вугілля – 5,2 %. [4].

Згідно з «Концепцією реформування та розвитку вугільної промисловості до 2020 року», яку було ухвалено у травні 2017 року, об'єми видобутку вугілля державними підприємствами повинні були поступово збільшуватися та досягти у 2020 році позначки 10 млн т, що представлено на рис.1 [5].

Однак, реальні значення не відповідають прогнозованим. Відповідно до Концепції об'єми видобутку вугілля у 2018 році повинні були досягти 8,7 млн т/рік порівняно з реально видобутими 4,3 млн т/рік (рис.2).

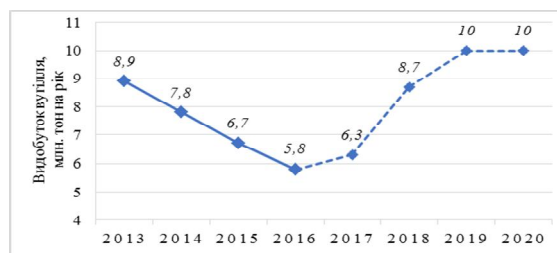


Рис. 1. Рівень та тенденції видобутку вугілля в Україні у період 2013-2020 рр.

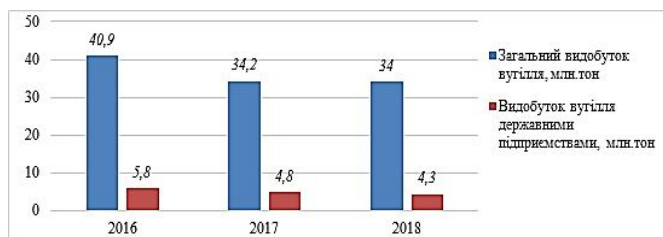


Рис.2. Видобуток вугілля державними підприємствами порівняно з загальним видобутком

Постановка задачі. Усі ці обставини та світові тенденції розвитку вугільної промисловості ставлять перед Україною першочергове завдання раціонального використання та подальшої розробки родовищ, які експлуатуються в теперішній час. Також важливим елементом виступає скоординоване співробітництво між Міністерством вугільної промисловості та енергетики, регіональними та місцевими органами влади, спільнотою, вченими на приватними підприємствами [6, 7].

Викладення матеріалу та результати. Важливу роль відіграє процес поширення європейських енергетичних стандартів на українське законодавство основною ціллю яких виступає демонополізація внутрішні енергетичні ринки, ціль якої зробити їх більш прозорими та конкурентоспроможними [1].

Крім цього, особливого значення для вуглевидобутку та вугільної генерації набуватиме затвердження конкретних планів щодо виконання Паризької Угоди з питань клімату. Угода була представлена під час [Рамкової конвенції ООН про зміну клімату](#) (UNFCCC) щодо регулювання заходів зі зменшення викидів [діоксиду вуглецю](#) з 2020 р. На засіданні 21-ї Конференції зі зміни клімату 12 грудня 2015 остаточний текст Паризької угоди був погоджений консенсусом всіх 195 країн-підписантів Рамкової конвенції та Європейського Союзу. Угода набрала чинності [4 листопада 2016](#) року. Паризька угода має прийти на заміну Кіотському протоколу, термін дії якого закінчується в 2020 році. Україна підписала Угоду 22 квітня 2016 року, визнаючи потребу ефективного та поступального реагування на нагальну загрозу зміни клімату на основі найкращих наявних наукових знань [8]. Згідно до неї важливу роль відіграють досвід і фінансові механізми, які можуть забезпечити досягнення балансу між реструктуризацією вугільного сектора, введенням чистих вугільних технологій і досягненням цілей щодо запобігання безповоротного негативного впливу від промислової діяльності на клімат. Саме тому, внесок наукових розробок і результатів досліджень з фокусом на практичне застосування в промисловість - це ключове в досягненні цілей Енергетичної стратегії України до 2035г. і міжнародних зобов'язань України задля врегулювання комплексу проблем по реструктуризації вугільних регіонів, переходу на чисті технології, вирішення екологічних питань і зміцнення механізмів стійкого розвитку [1, 6]. Співпраця з ЄС відіграє значну роль в прискоренні трансформації енергетичного сектора України, зокрема, шляхом підписання та моніторингу виконання щорічних планів в рамках імплементації Меморандуму про взаєморозуміння щодо Стратегічного Енергетичного Партнерства між Україною і ЄС спільно з Європейським Співтовариством з атомної енергії.

Однією з вимог Паризької угоди є розробка та практична реалізація стратегії низьковуглецевого розвитку до 2050 р. Важливо зазначити, що відповідно до Паризької угоди, кожна держава визначає для себе обсяги скорочення викидів і подає інформацію про відповідні зобов'язання в секретаріат Конвенції ООН про зміну клімату та зобов'язується виконувати добровільно визначені для себе зобов'язання. Національно визначені внески держав переглядаються кожні 5 років.

В зусиллях з досягнення кліматичних цілей вугільна промисловість знаходиться під найсуворішим контролем через хімічні властивості вугілля, що роблять цей вид палива найменш екологічним з точки зору забруднення повітря під час використання його у тепловій генерації електроенергії. Для того, щоб довести рівень шкідливих викидів при генеруванні енергії до визначених міжнародних стандартів, необхідно додатково інвестувати такий значний обсяг коштів, що бізнес пов'язаний з генерацією з використанням вугілля у більшості випадків може втратити свою комерційну привабливість [9].

Відповідно до даних засідання Міжвідомчої комісії із забезпечення виконання Рамкової конвенції ООН зі зміни клімату від 23 травня 2018 року було представлено основні показники Національного кадастру викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні в 1990-2016 рр., які відображено на рис.3 [10].

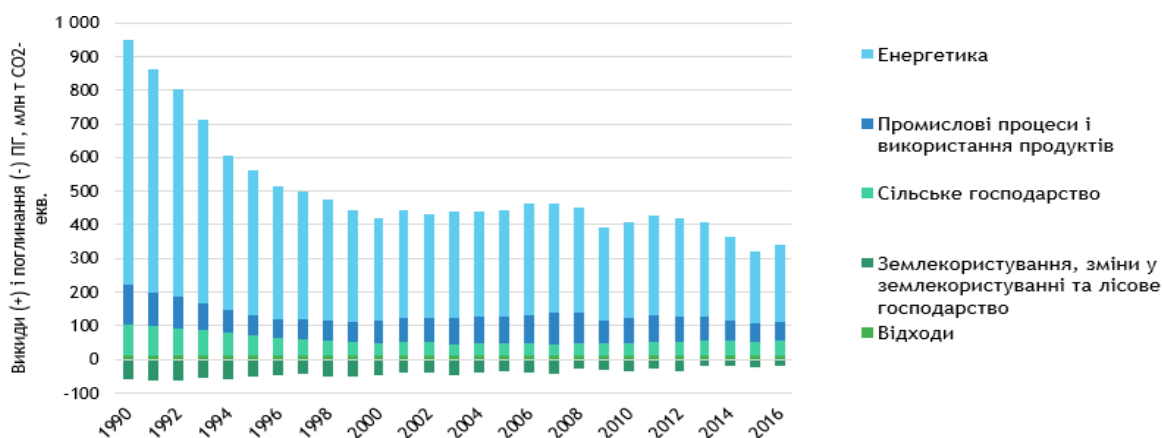


Рис.3. Викиди парникового газу за 1990-2016 роки, млн т

Не дивлячись на те, що викиди парникових газів тісно пов'язані із розвитком економіки, зокрема із рівнем ВВП як одним із найпоширеніших показників, однак свій вплив на рівень викидів має також ряд інших факторів, наприклад, модернізація промислових та інших об'єктів, що дозволяє скорочувати інтенсивність викидів на одиницю продукції як прямо (зниження використання сировини), так і опосередковано (через заходи із енергозбереження або використання відновлюваних джерел), модернізація транспортних трубопроводів, що дозволило скоротити викиди ПГ від неконтрольованих витоків при перекачуванні природного газу, а також зміна структури різних видів палива в енергетиці [10].

Відповідно до поданих у 2015 році в Секретаріат Конвенції зобов'язань щодо скорочення викидів, Україна планує не перевищити до 2030 році 60% викидів від рівня викидів таких газів у базовому 1990 році (рис. 4).

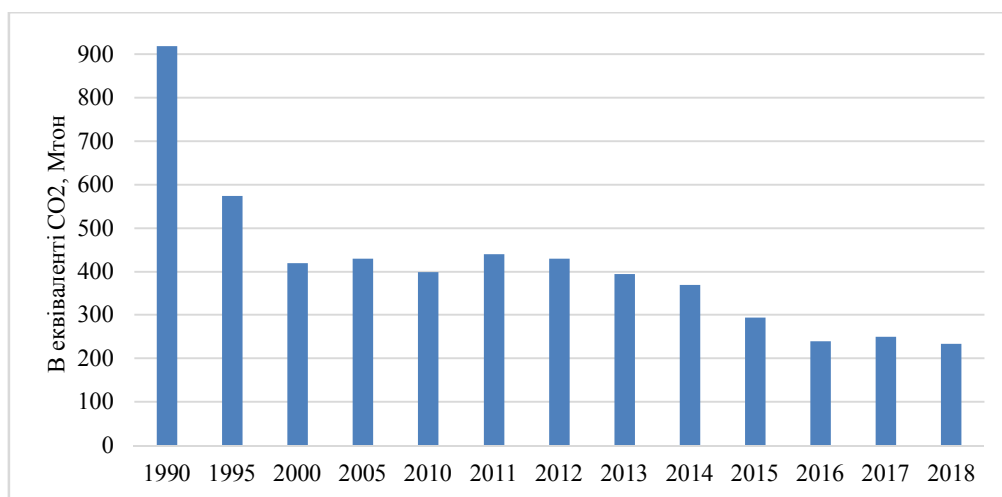


Рис. 4. Викиди парникових газів в Україні, 1990-2018 роки

Слід зазначити, що згідно з Додатком А до Кіотського протоколу до основних парникових газів відносяться діоксид вуглецю (CO₂), метан (CH₄), закис азоту (N₂O), гідрофторвуглеці (ГФВ), перфторвуглеці (ПФВ), гексафторид сірки (SF₆) [11].

У світових масштабах викиди CO₂ в результаті спалювання викопного палива і промислових процесів склали близько 78% від загального збільшення викидів парникових газів в період з 1970 по 2010 рік. Викиди CO₂, що пов'язані з викопним паливом, досягли 32 Гт CO₂ на рік у 2010 році та в наступні роки продовжували збільшуватися на 1-2%. Із загальної кількості викидів парникових газів (49 Гт CO₂ на рік) на частку діоксиду вуглецю припадає 76%. Викиди ме-

тану (CH_4) складають 16% загального об'єму. Однак, незважаючи на те, що частка метану приблизно у 5 разів менша за частку діоксиду вуглецю, зменшення кількості викидів та запровадження заходів обмеження або скорочення викидів є необхідним.

До останнього часу вважалося, що парниковий ефект від метану (CH_4) в 25 разів сильніше, ніж від діоксиду вуглецю (CO_2). Однак, у Доповіді Міжурядової групи експертів зі зміни клімату ООН (IPCC), зазначено, що вплив метану ще небезпечніше, ніж оцінювалося раніше. Дана організація була заснована в 1988 році Всесвітньою метеорологічною організацією (ВМО) і Програмою ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП), та створена для оцінки ризику глобальної зміни клімату, викликаного техногенними факторами. Та як випливає зі Доповіді №5 IPCC, в розрахунку на 100 років парникова активність метану в 28 рази сильніше, ніж у діоксиду вуглецю, а в 20-річній перспективі - в 84 рази [12].

Певний внесок до загальної кількості викидів метану вносять витрати при розробці родовищ вугілля і природного газу. Таким чином, з точки зору екологічної безпеки переробка шахтного метану є дуже актуальною. Та є необхідність скорочення кількості викидів за рахунок використання шахтного метану, як альтернативного джерела енергії.

Головні ресурси метану вугільних родовищ України зосереджені в Донецькому та Львівсько-Волинському кам'яновугільних басейнах. Загальні прогнозні ресурси метану, що міститься у вугільних родовищах, в Україні за даними різних джерел оцінюються в діапазоні 12-13 трлн.куб.м.

Найбільш раціональним способом утилізації шахтного метану є використання безпосередньо в місцях його отримання. Досвід робіт, проведених до теперішнього часу з будівництва дегазаційних свердловин, газозбірних пунктів, газопроводів, станцій по заправці газом автомобільного транспорту, станцій для отримання електроенергії з метану вугільних родовищ та в якості палива для котельнь можна вважати переважними варіантами використання шахтного метану на гірничодобувному підприємстві.

Слід зазначити, що в Україні вже є приклади дієвих технологій видобутку шахтного метану. Найбільш активні проекти із дегазації реалізуються на ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька», ПАТ «Шахтоуправління «Покровське», ДП «Вугільна компанія «Краснолиманська», ПАТ «Шахтоуправління «Донбас», ПАТ «ДТЕК Шахта Комсомолець Донбаса» та інші.

На ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька» запропоновано і апробовано спосіб дегазації вугленосної товщі з попереднім розвантаженням, що включає буріння свердловин в масиві, їх гідророзрив, фіксацію тріщин сипкими матеріалами, а також на першому етапі, до початку відробки пласта, при проходженні виїмкових штреків – буріння розвантажувальних свердловин, а на другому етапі, після початку відробки, буріння дегазаційних свердловин попереду лави з двох сторін від розвантажувальних. У наслідок реалізації проекту у період 2004-2009 роки на шахті ім. О.Ф. Засядька за рахунок використання шахтного газу вироблено 559 412 МВт-год електричної енергії, та 157 077 Гкал тепла, яке використовувалось як шахтою так і сторонніми споживачами [13].

Другий проект, щодо використання шахтного метану, було реалізовано в Україні на ПАТ «Шахтоуправління «Покровське». Проект зареєстрований в Секретаріаті рамкової конвенції ООН з питань зміни клімату. Окрім екологічної вигоди, даний проект з використанням нового обладнання дозволяє покрити необхідність у 54,3% споживаної шахтоуправлінням електроенергії. З 2001 року уведено в експлуатацію котельню, яка використовує метан та покриває 77% необхідного головному промислому майданчику тепла. Економія досягається в тому числі завдяки передовій технології когенерації, яка на 35% ефективніше використовує паливо. З 2011 року експлуатується когенераційний комплекс. Його основне завдання - практичне використання метану, що витягається дегазації системою для виробництва власної електричної і теплової енергії. У підсумку, утилізація газу покращує екологічну обстановку в регіоні [14].

Державне підприємство «Вугільна компанія «Краснолиманська» є небезпечним за викидами газу метану. Однак, при розробці вугільних пластів метан уловлюється і подається на шахтні котельні, які опалюють поверхневі об'єкти підприємства, підігрівують воду в лазні. Тому повне забезпечення газом котельнь та усього виробничого комплексу йде за рахунок використання метану.

Іншим прикладом використання шахтного метану для генерації електричної енергії виступає досвід отриманий на ДВАТ «Шахта «Степова». Задля зменшення кількості викидів метану

збудовано 8 когенераційних установок задля виробництва електричної енергії. Також тепло від охолодження двигунів використовується для підігріву води у котельних цехах шахти.

На цей час основний видобуток вугілля газової групи (марка Г) припадає на шахти Західного Донбасу. Це близько 20 млн тонн на рік. Ще недавно шахти ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» не відносилися до небезпечних по газу метану. Але з ростом видобутку з 10 до 20 млн тонн на рік і збільшенням глибини відпрацювання вугільних пластів виділення метану значно виросли і на цей час являють собою небезпеку і, передусім, як джерело підземних пожеж [15].

Зважаючи на вищесказане, утилізація шахтного метану з другорядного стає пріоритетним завданням і потребує досліджень з метою виявлення зон скупчення газу та колекторів у породах покрівлі, що підроблюються.

Для вирішення цієї складної проблеми необхідно:

для конкретних геологічних умов розробити геомеханічні схеми відпрацювання вугільних пластів;

виконати натурні дослідження та встановити закономірності деформування породного масиву в наслідок відпрацювання вугільних пластів;

виконати верифікацію геомеханічної моделі на основі натурних вимірів;

визначити місце скупчення газу метану та оцінити колекторські властивості газонасиченого породного масиву, що підроблюється.

Висновки та напрямок подальших досліджень. На даному етапі в енергетичній структурі України понад 50% становить вугілля та природний газ. Використання Україною наявних власних енергетичних ресурсів буде залишатися ключовою складовою політики енергетичної безпеки. Однак, згідно з «Енергетичною стратегією України до 2035 року» прогнозується збільшення частки відновлюваної енергетики до рівня 12% від загальної первинної поставки енергії до 2020 року (є сумою виробництва, імпорту і експорту енергоресурсів в країні) і до 25% до 2035 року.

Світові енергетичні тенденції і складна ситуація в національній економіці, призводять до необхідності реструктуризації вугільної промисловості, підготовці державних шахт до приватизації і ліквідації збиткових шахт, відповідно до Європейських тенденцій. Однак, даний процес займе чимало часу, що ставить перед вугільною промисловістю України першочергове завдання раціонального використання і подальшої розробки родовищ, які експлуатуються в даний час.

Крім цього, особливого значення для вуглевидобутку та вугільної генерації набуває дотримання конкретних планів щодо виконання Паризького Угоди з питань клімату. Одним з етапів реалізації заходів є скорочення обсягів викидів парникових газів. У розрізі вугільної промисловості слід ретельно розглянути шляхи та способи використання шахтного метану. На сучасному етапі розвитку вуглевидобування шахтний існують приклади економічного та екологічного використання метану: ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька» та ДП «Вугільна компанія «Краснолиманська» - як джерело електричної та теплової енергії. На ПАТ «Шахтоуправління «Покровське» та ДВАТ «Шахта «Степова» завдяки експлуатації когенераційного комплексу окрім виробництва енергії внаслідок утилізації газу метану також спостерігається покращення екологічного становища в регіоні.

Перспективи корисної утилізації та промислового використання шахтного метану в Україні залежать від майбутніх обсягів видобутку вугілля, модернізації систем дегазації, запровадження технологій щодо використання метану та, що не менш важливо, удосконалення законодавчої бази.

Список літератури

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» від 18 серп. 2017 р. [Електронний ресурс] // Кабінет Міністрів України. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>.
2. Державна служба статистики України » [Електронний ресурс] – 2018 – URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/sg/ekolog/ukr/zp_pen_u.html
3. Пивняк Г. Г. Инновации и безопасность для угольных шахт Украины. / Г. Г. Пивняк, А. Н. Шашенко. // Материалы международной конференции «Форум горняков - 2015». – 2015. – Д.: Національний гірничий університет, 2015. – Т.1. – 193 с. – С. 44–48.
4. Мінеральні ресурси України [Електронний ресурс] – Київ: Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2018. – 270с. – URL: http://geoinf.kiev.ua/M_R_2018_1.pdf

5. Концепції реформування та розвитку вугільної промисловості на період до 2020 року від 24 травня 2017 р. [Електронний ресурс] // Кабінет Міністрів України. – URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/733-2017-%D1%80#n8>.
6. Коммюніке за результатами II міжнародної конференції з вугільної промисловості «Тенденції та перспективи видобутку, використання вугілля в Україні та світі» [Електронний ресурс]. – 2018. – URL: <https://dtek.com.ua/media-center/events/ii-mezhdunarodnaya-konferentsiya-po-ugolnoy-promyshlennosti/>
7. Пивняк Г. Г. Вторая жизнь угольной шахты в современных экономических условиях. / Г.Г. Пивняк, А.Н. Шашенко, М.С. Пашкевич. // Материалы международной конференции «Форум горняков - 2017». – 2017. – Д.: Національний гірничий університет, 2017. – 400 с. – С. 9–19.
8. Про ратифікацію Паризької угоди : Закон України від 14 липня 2016 р. № 1469-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1469-19>
9. Європейська система торгівлі викидами та перспективи впровадження системи торгівлі викидами в Україні. Аналітичний документ. – 2018. URL: <http://www.rac.org.ua/uploads/content/449/files/webetsinukraine2018ualayout.pdf>
10. Міністерство екології та природних ресурсів України. Національний кадастр антропогенних викидів із джерел і абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990-2016 pp.: веб-сайт. URL: <https://menr.gov.ua/news/32422.html>
11. Кіотський протокол від 1998 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
12. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
13. Сфрёмов І.О. Фізико-технічні основи комплексної дегазації і використання метану вугільних шахт : автореф. дис. На здобуття наук. ступеня д-ра техн. Наук : 05.15.02. Дніпропетровськ, 2011. 30 с.
14. ПАТ «Шахтоуправління «Покровське» : офіційний веб-сайт. URL: <http://pokrovskoe.com.ua/company/history>
15. На шахті у Павлограді спалахнув метан, постраждали гірники. ТСН Україна: офіційний веб-сайт. URL: <https://tsn.ua/ukrayina/na-shahti-u-pavlogradi-spalahnuv-metan-postrazhdali-girniki-1278669.html>

Рукопис подано до редакції 11.04.2018

УДК 622.1:528.02

П.Й. ФЕДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., О.В. ДОЛГІХ, Л.В. ДОЛГІХ, кандидати техн. наук, доценти, Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПОЛОЖЕННЯ РЕПЕРІВ ПРОФІЛЬНИХ ЛІНІЙ СПОСТЕРЕЖНОЇ СТАНЦІЇ

Мета. Метою є дослідження території, яка знаходиться над виробленим простором та під впливом тектонічного розлому земної кори. Наведено результати дослідження території шахти ім. Орджонікідзе, де у 2010 році сталося масштабне обвалення земної поверхні. Через ділянку, яка підпрацьована підземними гірничими роботами, проходить тектонічний розлом земної кори, який, як підтвердили дослідження, теж впливає на стан поверхні та споруд.

Методи дослідження. Актуальна задача дослідження сумісного впливу підземних гірничих робіт та тектонічного розлому земної кори на стан земної поверхні та поряд розташованих будівель і споруд, вирішена методами інструментальних вимірів та аналітичних розрахунків.

Наукова новизна. Розглядається питання про виконання повторного визначення координат осьових пунктів, які визначалися раніше, при будівництві шахти, і знаходяться в журналі координат пунктів маркшейдерської мережі шахти. Процес визначення координат осьових пунктів, які у подальшому можуть використовуватися для дослідження деформаційних процесів на території шахти та прилеглих ділянках, виявився непростим, так як необхідно було прийняти за вихідні, пункти триангуляції та полігонометрії з яких раніше виконувалися ці роботи. Відомо, що з часом пункти геодезичної мережі втрачаються.

Практична значимість. Для виключення помилок з визначених координат точок, виконано аналіз архівних документів щодо виконання робіт зі створення та розвитку маркшейдерсько-геодезичної мережі на об'єкті досліджень, визначені пункти вихідного обґрунтування, від яких будувалася початкова маркшейдерсько-геодезична мережа. Також були визначені координати перманентної станції із використанням GPS-технологій. Ці координати були використані, як вихідні, для визначення координат точок, які раніше були отримані з пунктів, на сьогодні неіснуючих.

Результати. На основі виконаних вимірів та аналізу результатів опрацювання координат точок, отриманих з різних циклів спостережень, визначені величини деформацій на території промислового майдану у межах ділянки трикутника, обмеженого вихідними пунктами. Необхідно зазначити, що величини зміни положень точок, що характеризуються деформаціями земної кори, мають порядок числа 10^{-4} та менше, але на досліджуваній ділянці виявлені утворені тераси по лінії розлому, що свідчить про прояви впливу саме тектонічного розлому.

Ключові слова: деформації, тектонічний розлом, перманентна станція, координати точок.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-55-59

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Геодинамічні процеси, які протікають у верхній частині земної кори, спричинені як природними так і техногенними чинниками. Останнім часом актуальними є дослідження стану земної поверхні та будівель і споруд, розташованих в районах видобутку корисних копалин як відкритим так і підземним способами розробки. Розробка родовища порушує природний стан навколишнього середовища, інколи призводить до катастроф та нещасних випадків, як це сталося на території шахти Орджонікідзе у 2010 році. Та ще зі складнішими обставинами доводиться стикатися, коли на стані земної поверхні відображається не тільки вплив розробки родовища, а й близьке розташування тектонічного розлому. Важливою задачею маркшейдерської служби є виконання досліджень території в межах гірничого відводу та поблизу для отримання достовірної інформації про процеси деформацій.

Аналіз досліджень і публікацій. Питаннями впливу геодинамічних процесів на стан земної поверхні, будівель та споруд займаються вчені провідних установ різних країн, що підтверджує важливість проблеми [1-6]. Використовуючи способи математичного моделювання чи результати інструментальних спостережень, визначаються імовірні прогнозні значення деформації земної поверхні. Отримані прогнозні значення деформацій порівнюються з допустимими та граничними деформаціями земної поверхні, що важливо при прийнятті рішень по подальшому використанню цих територій у тій чи іншій галузі народного господарства [7, 8-15].

Постановка задачі. На досліджуваній ділянці денна поверхня формується під впливом природних та техногенних процесів. Тому важливою задачею є вибір ефективної методики виконання інструментальних вимірювань та їх опрацювання, яка би враховувала всі чинники, що впливають на деформації поверхні. Причому, не менш важливо мати можливість за отриманими даними, зробити своєчасний вірний прогноз.

Викладення матеріалу та результати. Шахта ім. Орджонікідзе (ПУ ім. Леніна) була закладена в 1929 році, а введена в експлуатацію у 1933 році як «Капітальна». Враховуючи те, що проектування шахти відбувалося у довоєнні та післявоєнні роки, то наявність геологічних розломів проектувальними організаціями не враховувалася (рис. 1, 2).



Рис. 1. Зв'язок розташування терас на з місцем розташування розломів

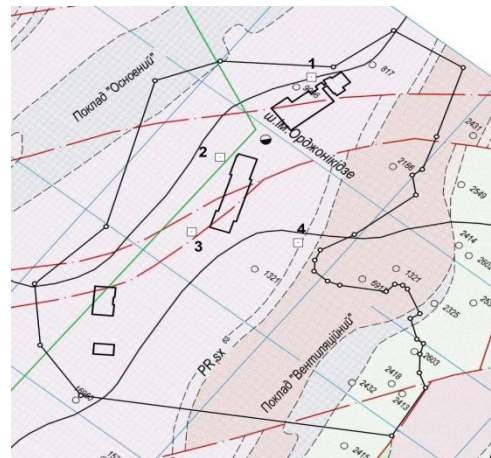


Рис. 2. План промислового майдану шахти з розломами

Державним інститутом з проектування підприємств залізничної промисловості «Кривбас-проект» було розроблене проектне завдання на реконструкцію рудника ім. Орджонікідзе, яке затверджене Міністерством чорної металургії СРСР від 26.12.1956 р. Ці матеріали використовуються як вихідні для сучасних досліджень.

При дослідженні території шахти ім. Орджонікідзе, були повторно визначені на місцевості координати пунктів осей шахти, які знаходяться в журналі координат пунктів маркшейдерської мережі шахти. Процес визначення координат осьових пунктів, які у подальшому можуть використовуватися для дослідження деформаційних процесів на території шахти та прилеглих ділянках, виявився непростим, так як необхідно було прийняти за вихідні, пункти триангуляції та полігонометрії з яких раніше виконувалися ці роботи. Зрозуміло, що з часом пункти геодезичної мережі втрачаються.

В архівних матеріалах виконаних геодезичних робіт за 1953 рік, знайдено схему створеної на той час маркшейдерсько-геодезичної мережі на території Кривого Рогу (рис. 3).

Для виключення помилок з визначених координат точок на гірничодобувних об'єктах Криворізького басейну, пропонується наступна послідовність робіт:

виконання аналізу архівних документів щодо виконання робіт зі створення та розвитку маркшейдерсько-геодезичної мережі на об'єкті досліджень;

визначення пунктів вихідного обґрунтування, від яких будувалася початкова маркшейдерсько-геодезична мережа;

визначення координат перманентної станції із використанням GPS-технологій;

з використанням координат перманентної станції, як вихідної, визначення на території досліджуваного об'єкта координат точок, які раніше були отримані з пунктів, на сьогодні неіснуючих;

визначення формули переходу від однієї системи координат до іншої.

В період будівництва шахти, за вихідні були прийняті пункти триангуляційної мережі міста Товста та Братосеменівка. Тому ці пункти були прийняті також за вихідні при визначенні координат перманентної станції TNT-TPI GNSS – KPPГ (рис. 4).

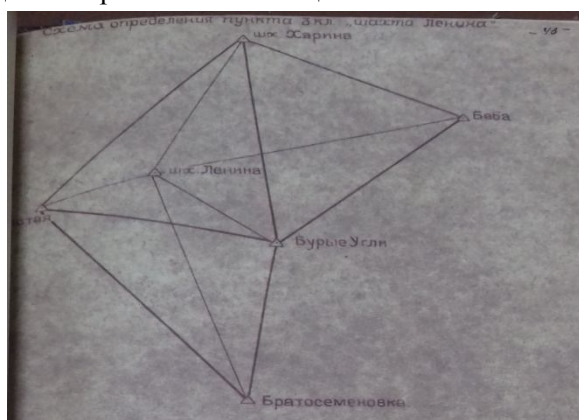


Рис. 3. Схема мережі триангуляції, створеної в період будівництва, з якої визначені координати шахти

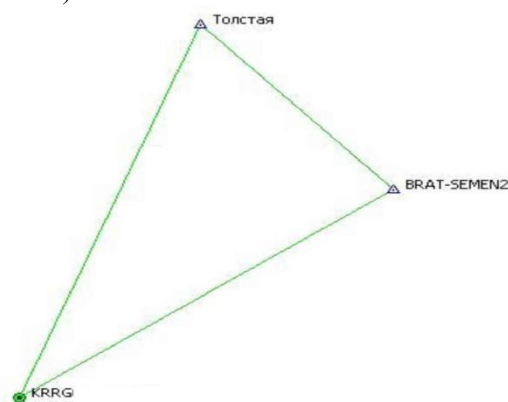


Рис. 4. Схема визначення координат перманентної станції

В табл. 1 наведено фактичні (сучасні) координати пунктів та їх координати, наведені у каталозі (архівні), визначені на момент будівництва шахти.

Таблиця 1

Сучасні та архівні значення координат пунктів				
Назва пунктів	X_{APX}	Y_{APX}	$X_{ФАКТ}$	$Y_{ФАКТ}$
BP-1	7806,093	7329,328	7806,069	7329,339
4445	7838,035	7340,450	7838,025	7340,458
T2	7884,372	7355,314	7884,371	7355,316

З 2016 року на промайдані шахти ім. Орджонікідзе, крім традиційних вимірів на реперах профільних ліній, виконується визначення їх координат за допомогою GPS-технологій. Ці виміри виконуються для підвищення надійності отриманих величин деформацій на точках місцевості, які визначені класичними методами, з використанням лінійних вимірів та нівелювання. Зміщення точок земної поверхні визначалися на осевих пунктах шахти (№ 2 та № 3), та раніше закріплених ґрунтових реперах № 4 та № 1. Завдяки використанню нових технологій, встановлено зв'язок між утворенням терас на місцевості та розташуванням геологічних розломів земної кори (рис. 1). Для підтвердження взаємного впливу тектонічного розлому та наслідків ведення підземної розробки родовища на положення точок, були виконані GPS-вимірювання.

За межами гірничого відводу шахти були виконані роботи по визначенню координат точок, які у подальшому використовувалися за вихідні для відновлення маркшейдерсько-геодезичної мережі та для виконання спостережень за положенням реперів, які знаходяться в зоні можливого впливу гірничих робіт та тектонічного розлому земної кори.

Результати спостережень за деформаціями на реперах, розташованих на території промислового майдану, наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Обчислені деформації по осях X та Y

Назви пунктів	1-е спостереження 07.10.2016		2-е спостереження 13.06.2017		Зміщення, м		5-е спостереження 14.12.2018		Зміщення, м		Зміщення, м	
	$X, \text{м}$	$Y, \text{м}$	$X, \text{м}$	$Y, \text{м}$	ΔX_{2-1}	ΔY_{2-1}	$X, \text{м}$	$Y, \text{м}$	ΔX_{5-4}	ΔY_{5-4}	ΔX_{5-1}	Y_{5-1}
ВР-1	06,069	29,348	06,094	29,338	+25	-10	06,090	29,339	-18	-7	+21	-9
Т-2	84,360	55,310	84,385	55,302	+25	-8	84,377	55,321	-7	-8	+17	+11
9-1	94,99	17,800	95,008	17,798	+18	-2	94,993	17,807	-12	-1	+3	+7

За результатами опрацювання даних, визначені параметри деформацій зрушення – γ_1 та γ_2 , ділатація – Δ , максимальний розтяг E_1 або стиск – E_2 , азимут напрямку – α .

Результати опрацювання даних наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Параметри деформацій

Параметри деформації	2-серія спостережень 13.06.2017	3-серія спостережень 21.12.2017	4-серія спостережень 26.04.2018	5-серія спостережень 14.12.2018
γ_1	0,00000	0,00000	0,00058	0,00032
γ_2	0,00012	-0,00100	0,00017	0,00029
γ_m	0,00012	0,00100	0,00060	0,00043
Δ	-0,00020	0,00000	0,00008	0,00003
E_1	-0,000024	0,000062	0,00030	0,00020
E_2	-0,00017	-0,00006	-0,00026	-0,00021
α , град.	28	27	351	340

На основі виконаних вимірів та аналізу результатів опрацювання координат точок, отриманих з різних циклів спостережень, визначені горизонтальні деформації на території промислового майдану у межах ділянки трикутника, обмеженого пунктами 2, 3 та 4 (рис. 2). Необхідно зазначи-

ти, що величини зміни положень точок, що характеризують деформації земної кори мають порядок числа 10^{-4} та менше.

Висновки та напрямок подальших досліджень. За результатами маркшейдерських спостережень уточнюються характеристики процесу зрушення та складається прогноз розвитку деформацій земної поверхні залежно від гірничо-геологічних умов. Прогноз ґрунтується на системному підході та комплексному аналізі результатів спостережень, при цьому використовуються дані трендових рухів за минулий період та дані сучасної геодинаміки шляхом проведення спостережень. Спостереження використані для складання прогнозу розвитку деформаційних процесів в гірничому відводі підприємства.

Список літератури

1. Kumar, K. Vijay. Secular crustal deformation in central Japan, based on the wavelet analysis of GPS time-series data. Текст. / K. Vijay Kumar, Kaoru Miyashita, and Jianxin Li // Earth. Planet. Space., 2002. 54. - P. 133-139.
2. Ren, Jinwel. Correlated crust and mantle strain field in China. Текст. / Jinwel Ren // Proceedings of the APSG Symposium: Space Geodesy and Dynamic Planet, 16-18 October, 2006, Korea, p. 221-224.
3. Vigny, C. GPS network monitors the Western Alps deformation over a five-year period: 1993-1998. Текст. / C. Vigny, J. Chery, T. Duquesnoy and andere. // J. Geod. 2002, 76. № 2. - P. 63-76.
4. Гудков В.М., Спиридонов В.П. Критерии устойчивости горнопромышленных сооружений и зданий. – Маркшейдерский вестник. № 2, 2004 г., с. 68-71.
5. Спиридонов В.П. Деформации горных пород и сооружений, предупреждение чрезвычайных ситуаций. – Минск: «Горная механика», № 1-2, 2004, с. 28-34.
6. Ященко В.Р., Ямбаев Х.К. Геодезический мониторинг движений земной коры. – М.: изд-во МИИГАиК, 2007. – 208 с.
7. Инструкция по исследованиям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений. М.: Недра, 1988.
8. Долгіх О.В. Використання можливостей сучасних приладів при дослідженнях зсувів на територіях гірничодобувних підприємств. // О.В. Долгіх // Качество минерального сырья.– Сб. научных трудов. – Кривой Рог: ГВУЗ «КНУ». - 2018. С. 323-331.
9. Долгіх О.В., Долгіх Л.В. Дослідження способів спостереження за деформаціями денної поверхні, підробленої гірничими роботами // О.В. Долгіх, Л.В. Долгіх // Вісник криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2016. - № 101. С. 46-49.
10. Долгіх О.В. Використання нечіткої логіки та нейронних мереж при розрахунках можливості утворення провалів від дії підземних гірничих робіт // О.В. Долгіх, //Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2014. - 2014. – Вип. 37. С. 76–79.

11. Долгих О.В., Подойніцина Т.О. Проблеми інтерпретації маркшейдерської інформації та її передбачення // О.В. Долгих, Т.О. Подойніцина // Гірничий вісник: науково-техн. зб. – 2014. № 97. С. 104-107.
12. Долгих А.В. Использование нейронных сетей при исследовании земной поверхности, подработанной подземными горными работами / А.В. Долгих // ГЕОМАТИКА. – 2014. - №1, Москва, – С. 92-96.
13. Долгих А.В., Долгих Л.В. Выбор способа наблюдения за деформациями земной поверхности, подработанной подземными горными выработками // А.В. Долгих, Л.В. Долгих // Наука образованию, производству, экономике : 14 междунар. научн.-техн. конф. 2016 г. : тезисы докл. – Минск: БНТУ, 2016 р. С. 175.
14. Долгих Л.В., Долгих О.В. Використання цифрової зйомки при дослідженні деформацій відвалів //Л.В. Долгих, О.В. Долгих// Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі : Міжнар. наук.-техн. Інтернет конф., 2016 р. : тези доп. – Кривий Ріг: КНУ, 2016 р. С. 156.
15. Шеметов Р.С., Филиппов Ю.А. Особенности выбора места расположения наблюдательной станции для проведения геомониторинга deformаций сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. № 10.

Рукопис подано до редакції 10.04.2018

УДК 622.233

Ю. С. РУДЬ, д-р техн. наук, проф., В. В. КУЧМА, канд. техн. наук, доц.,
В. Ю. БЕЛОНОЖКО, ст. преподаватель
Криворожский национальный университет

О ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СТАВА ШТАНГ СТАНКОВ ШАРОШЕЧНОГО БУРЕНИЯ СБШ-250

Станки шарошечного бурения типа СБШ-250 различных модификаций широко применяются на отечественных и зарубежных предприятиях при добыче полезных ископаемых открытым способом. Несмотря на большой опыт эксплуатации станков и масштабные научные исследования режимов их работы, остается не решенной проблема возникновения интенсивной вибрации при попытке интенсификации режимов бурения в пределах технических возможностей станка. Повышенная вибрация снижает производительность станка, увеличивает число поломок его основных узлов и металлоконструкций, ускоряет износ резьбовых соединений штанг и значительно снижает проходку на долото, что не позволяет в полной мере использовать проектные возможности станка.

Целью статьи является исследование проблемы снижения вибраций бурового става станка СБШ-250 и выбор рациональных режимов эксплуатации.

Метод исследования комплексный: аналитический при анализе литературных источников; теоретический при выборе параметров бурения; экспериментальный при определении амплитуды вынужденных поперечных колебаний става.

Научной новизной является то, что установлены критерии устойчивости става штанг станка СБШ-250МНА-32 с учетом влияния вибраций не только мачты, но и всего станка.

Практическое значение. Расчетным путем оценена динамическая устойчивость буровых ставов, применяемых в настоящее время в станках СБШ-250 и даны рекомендации по выбору рациональных режимов эксплуатации.

Результаты. Проведенные исследования показали, что у станка СБШ-250МНА-32 при форсировании режима бурения за счет увеличения до максимума частоты вращения $n = 120$ 1/мин и усилия подачи до $P_{pod} = 294$ кН буровой став штанг диаметром $D = 219...146$ мм и длиной $l = 16...32$ м теряет динамическую устойчивость и искривляется. Искривленный буровой став совершает вынужденные поперечные колебания с частотой его вращения. Когда частота вынужденных колебаний совпадает с частотой собственных поперечных колебаний бурового става его механическая система входит в резонанс. При этом амплитуда колебаний бурового става может возрастать неограниченно. Поэтому вибрирующий став штанг становится источником интенсивных вибраций не только мачты, но и всего станка.

Ключевые слова: станок шарошечного бурения, став штанг, динамическая устойчивость, поперечные колебания, резонанс.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-59-64

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Станки шарошечного бурения типа СБШ-250 различных модификаций широко применяются на отечественных и зарубежных предприятиях при добыче полезных ископаемых открытым способом. На долю таких станков приходится порядка 70% объема бурения взрывных скважин. Несмотря на большой опыт эксплуатации станков и масштабные научные исследования режимов их работы остается не решенной проблема возникновения интенсивной вибрации при попытке интенсификации режимов бурения [1, 2] в пределах технических возможностей станка. Повышенная вибрация

снижает производительность станка, увеличивает число поломки его основных узлов и металлоконструкций, ускоряет износ резьбовых соединений штанг и значительно снижает проходку на долото [3-6]. Технические решения в виде наддолотных амортизаторов, скользящих муфт и других центраторов обеспечивают некоторое снижение вибрации, однако радикально проблему не решают. Высокий уровень вибрации бурового става не позволяет в полной мере использовать проектные возможности станка. Проблема снижения вибрации бурового става остается весьма актуальной научной и практической задачей.

Анализ исследований и публикаций. Опубликованные результаты аналитических и экспериментальных исследований посвящены преимущественно продольным колебаниям бурового става. При этом большинство авторов рассматривают вынужденные колебания станка как механической системы. Отдельные авторы ограничиваются рассмотрением собственных колебаний. Объединяет эти направления допущение возможности возникновения резонанса в колебательной системе и сопутствующих поперечных колебаний бурового става.

Анализ и обобщение существующего на сегодняшний день многообразия конструкций вращательно-падающих механизмов станков дали возможность сделать вывод, что динамическая модель станка может быть представлена тремя-четырьмя основными (со сосредоточенными) массами, упругими и диссипативными элементами, характеристики которых (масса M_i , жесткость C_i , коэффициент демпфирования β_i) могут быть определены экспериментально или аналитически. Основными упругими элементами следует считать канаты, цепи, рейки и гидравлическую систему. При этом приведенная жесткость C_m гидросистемы подачи определяется преимущественно жесткостью системы подводных рукавов. Последняя зависит от приведенного модуля упругости рукавов E_{np} , который в свою очередь зависит от давления жидкости в гидросистеме. Металлоконструкция станка, за исключением системы подачи бурового става, жесткая. Крутящий момент и крутильные колебания бурового става практически отсутствуют. Если амплитуда периодического продольного возмущения меньше критического значения, то вращательно-падающий механизм бурового станка подвержен только продольным колебаниям и может рассматриваться как механическая система с сосредоточенными параметрами [7]. Дополнительно к изложенному аналитически обоснованы допущения [8-10], что можно пренебречь силами трения при относительном перемещении масс и жесткостных элементов.

Основным возмущающим фактором большинство авторов считают волновую поверхность забоя скважины, по которому перекачивается шарошечное долото [10-12]. То есть буровой став совершает вынужденные продольные колебания с кинематическим возбуждением. Волнообразная поверхность образуется по причинам неоднородности, трещиноватости, резкой перемежаемости по твердости разбуриваемого массива в масштабах долота, выколов породы в ослабленном трещиной или другим дефектом слое породы, перескоком шарошек долота с зубца на зубец с частотой, кратной частоте поперечных колебаний ω бурового става, возможной неполной проработки забоя скважины и т.д. [7, 9, 13-16].

Экспериментальные исследования показали, что переменная нагрузка бурового става зависит от упругих характеристик вращающе-подающего механизма [11, 17]. А максимум этой нагрузки приходится на область частот 15...20 Гц, которые превышают в три раза частоту вращения долота [17]. Основываясь на этом, авторы заключают, что источником колебаний бурового става в области 3...6 Гц является волновая поверхность забоя скважины. Причем волнистость забоя зависит от частоты вращения долота. Так при вращении с частотой от 0 до 60 1/мин может образовываться девятиволновая форма забоя, при частотах от 60 1/мин. до 100 1/мин – шестиволновая, при частотах от 100 1/мин до 157 1/мин – трёхволновая [12].

Следует заметить, что в анализируемых публикациях не акцентировано внимание на том, что число возможно образуемых волн на забое скважины (возмущающий фактор) и значение частот максимума переменной нагрузки во вращающе-подающем механизме (собственное колебание) кратные трем. Эта кратность факторов может быть причиной возникновения резонанса в колебательной системе бурового станка.

Для снижения продольных колебаний става штанг разработаны забойные [18] и наддолотные [19] амортизаторы. В них осевое усилие и крутящий момент передаются долоту через упругий элемент. Частичный положительный эффект от их применения получен при бурении скважин глубиной до 20 м по породам и рудам крепостью $f=10\ldots14$. Осевое усилие изменилось в диапазоне 150...300 кН. Частота вращения бурового инструмента – от 60 1/мин до 157 1/мин.

Некоторые авторы [3, 20] полагают, что во вращающе-подающем механизме следует рассматривать только собственные колебания верхнего конца бурового става как приведенной массы на упругом элементе постоянной жесткости $c=ES/l$ (здесь E – модуль упругости материала штанги; S – площадь поперечного сечения; l – длина става, который рассматривается как невесомый стержень, выполняющий роль упругого элемента). Волнистость поверхности забоя скважины не рассматривается, а вынужденными колебаниями от перескоков шарошек с зуба на зуб авторы пренебрегают.

Одновременно с продольными колебаниями буровой став совершает весьма интенсивные поперечные колебания [1, 7, 8, 15, 21]. Возможной их причиной предполагается потеря продольной устойчивости става под действием усилия подачи, дополняемого динамическими составляющими от продольных колебаний [7, 8, 19, 21]. Однако расчеты показывают, что для буровых штанг всех типоразмеров усилие подачи станка и динамические дополнения весьма далеки от критических значений, способных вызвать продольный изгиб бурового става. Другие возможные причины поперечных колебаний не исследованы.

Для предотвращения упомянутых поперечных колебаний буровой штанги и девиации долота применяются центрирующие устройства [1, 21]. Однако, их эффективность еще не достаточна.

Постановка задачи. В настоящее время для изготовления буровых штанг применяются стальные бесшовные горячедеформированные трубы по ГОСТ8732-78 с наружным диаметром 219÷146 мм и толщиной стенки 50÷22 мм. Для этих труб стандарт допускает отклонение толщины стенки до $\pm 10-12,5\%$ и кривизны 2-4 мм на любом участке трубы на 1 м ее длины. Очевидно, что при такой разностенности и кривизне штанг центральная ось инерции бурового става как тела вращения не совпадает с его геометрической осью и с осью вращения при бурении. Наличие дебаланса при вращении става порождает распределенную периодическую центробежную силу, частота которой равна частоте вращения. Под действием этой силы буровой став совершает вынужденные периодические колебания. Как показывает анализ опубликованных работ, влияние этих колебаний на динамическую устойчивость бурового става исследовано недостаточно. Для оценки динамической устойчивости бурового става необходимо выполнить теоретические исследования его вращения как стержня большой длины. Расчетным путем оценить динамическую устойчивость буровых ставов номенклатуры применяемых в настоящее время в станках СБШ-250.

Изложение материала и результатов. Одной из предполагаемых причин возникновения интенсивных колебаний во вращающе-подающем механизме бурового станка при интенсификации режима бурения может быть конструктивная особенность бурового става. Став представляет собой полый вал, составленный из двух, трех и более штанг длиной порядка 8 м каждая. У такого вала отношение длины l к его среднему диаметру d_{cp} составляет $\lambda=l/d_{cp}=65\dots 145$. Частота вращения става изменяется в диапазоне $n = 0\dots 165$ 1/мин. При значениях коэффициента гибкости $\lambda \geq 15$ валы при определенных частотах вращения становятся динамически неустойчивыми. При этом кинетическая энергия вращения вала, поддерживаемая двигателем, может переходить в энергию поперечных собственных колебаний. Существует некоторая критическая частота вращения $n_{кр}$, которая совпадает с частотой собственных поперечных колебаний. При этом возникает явление резонанса, при котором амплитуда поперечных колебаний вала (бурового става) может неограниченно возрастать. Возможную неустойчивость бурового става усугубляет наличием некоторой начальной его кривизны y , возникающей при монтаже и обусловленной погрешностями изготовления штанг.

Определим критическую частоту вращения бурового става при осевой нагрузке F . Будем рассматривать буровой став как упругую балку с распределенной массой, опирающуюся шарнирно своими концами. Длина балки l несопоставимо больше ее возможного прогиба $y(x)$, $l \gg y(x)$. При вращении изогнутого става на каждый его элемент действует центробежная сила, которую можно считать непрерывно распределенной нагрузкой. Выделим элемент става длиной dx на расстоянии x от начала координат. На этот элемент действует центробежная сила

$$dF = \rho \omega^2 y dx, \quad (1)$$

где ρ – погонная масса става штанг, кг/м; ω – угловая скорость вращения става, рад/с; $y=y(x)$ – прогиб, равный радиусу вращения элемента dx вокруг оси вращения, м.

Из выражения (1) имеем

$$\frac{dF}{dx} = \rho\omega^2 y = q(x), \quad (2)$$

где $q(x)=q$ – интенсивность распределенной нагрузки, создаваемой центробежной силой, Н/м.

Очевидно, что прогиб y , создаваемый распределенной центробежной нагрузкой есть функция координаты x , $y=y(x)$. Если задана нагрузка $q(x)$, а не изгибающий момент $M(x)$, то уравнение упругой линии деформированного става можно представить в форме [22]

$$\frac{d^2}{dx^2} \left[EI \frac{d^2 y(x)}{dx^2} \right] = q(x), \quad (3)$$

где E – модуль Юнга, Н/м², I – момент инерции сечения штанги, $I=\pi(D^4-d^4)/64$, м⁴; D и d – наружный и внутренний диаметры штанги, м.

Подставим значение $q(x)$ из уравнения (1) в уравнение (3) и получим дифференциальное уравнение упругой линии в виде

$$\frac{d^4 y}{dx^4} - \frac{\rho\omega^2}{EI} y = 0. \quad (4)$$

Введем обозначение $\frac{\rho\omega^2}{EI} = S^4$. Тогда уравнение (4) примет вид

$$\frac{d^4 y}{dx^4} - S^4 y = 0.$$

Общий интеграл этого линейного однородного уравнения четвертого порядка с постоянными коэффициентами находим с помощью характеристического уравнения $r^4 - S^4 = 0$, которое можно представить в виде: $(r-S)(r+S)(r^2+S^2)=0$.

Корни характеристического уравнения: $r_1 = S$; $r_2 = -S$; $r_3 = Si$; $r_4 = -Si$. Так как корни характеристического уравнения содержат пару однократных комплексных сопряженных корней $r_{3,4} = \pm Si$, то общее решение дифференциального уравнения упругой линии надлежит искать в виде

$$y = C_1 e^{Sx} + C_2 e^{-Sx} + C_3 \sin sx + C_4 \cos sx. \quad (5)$$

Для определения постоянных интегрирования C_1 , C_2 , C_3 и C_4 используем граничные условия. На опертых концах бурового става прогиб и кривизна оси равны нулю, т.е. при $x = 0$; $y = 0$; при $x = 0$ $d^2 y/dx^2 = 0$; при $x = l$; $y = 0$; при $x = l$ $d^2 y/dx^2 = 0$. Значения граничных условий подставим в уравнение (5) и в его второй дифференциал. Получим систему четырех алгебраических уравнений, связывающих постоянные интегрирования. Решение этой системы даст: $C_1 = 0$; $C_2 = 0$; $C_4 = 0$; $C_3 \sin sl = 0$. Если $C_3 = 0$, то уравнением упругой линии будет $y = 0$, т.е. упругая линия совпадает с осью K (с осью вращения) и буровой став не искривлен. При искривлении става необходимо, чтобы $C_3 \neq 0$. Но тогда должно быть $\sin sl = 0$. Это будет иметь место при $Sl = k\pi$ Откуда $s = k\pi / l$, где $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ При $k = 0$ получим $s = 0$ и уравнение упругой линии става будет $y = C_1 + C_2 + C_4 = 0$ – став прямой.

При остальных значениях s вал искривляется. Уравнение упругой линии будет иметь вид:

$y = C_3 \sin sx \left(\frac{k\pi}{l} x \right)$. Эта синусоида при некотором критическом значении $s_{kp} = k\pi/l$ будет иметь

вид $k = 1, 2, 3, \dots$ – полувал по длине става. Представим s_{kp} в принятое ранее обозначение $s^4 = \rho\omega^2/EI$, полагая, что значение s_k соответствует критической скорости $\omega = \omega_k$, при которой

буровой став искривляется, получим $\frac{k^4 \pi^4}{l^4} = \frac{\rho\omega_k^2}{EI}$. Откуда

$$\omega_{kp} = \frac{k^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho}}. \quad (6)$$

Критическая частота вращения

$$n_k = \frac{30k^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho}}. \quad (7)$$

Следует заметить, что на критическую частоту вращения влияет усилие подачи $P_{под}$ бурового става на забой, которое увеличивая его прогиб. С учетом усилия подачи $P_{под}$

$$n_k' = \frac{30k^2\pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho} \left(1 - \frac{P_{под}}{P_3}\right)}, \quad (8)$$

где $P_3 = \pi^2 EI / l^2$ – критическая сжимаемая сила (Эйлера сила) для стержня с шарнирно опертыми концами.

Расчетные значения $n_{кр}$ и $n_{кр}'$ для става штанг станка СБШ-250МНА-32 приведены в таблице. Согласно технической характеристике максимальное усилие подачи $P_{под} = 294$ кН; максимальная частота вращения става $n_{max} = 120$ 1/мин. Для бурения применяются штанги 219×50 мм; 219×30 мм; 219×25 мм; 203×50 мм; 203×22 мм; 180×30 мм; 168×30 мм; 146×32 мм. Длина става 16, 24 и 32 м.

Таблица

Штанга	Критические частоты n и n' , 1/мин					
	при $l = 16$ м		при $l = 24$ м		при $l = 32$ м	
	$P_{под} = 0$	$P_{под} = 294$ кН	$P_{под} = 0$	$P_{под} = 294$ кН	$P_{под} = 0$	$P_{под} = 294$ кН
219×50	120	96	53	24	30	0
219×30	127	95	57	0	32	0
219×25	140	99	62	0	35	0
203×50	112	82	50	0	28	0
203×22	125	68	56	0	31	0
180×30	102	35	46	0	26	0
168×30	94	34	42	0	24	0
146×32	80	25	36	0	20	0

Выводы и направление дальнейших исследований. Расчеты показали, что при форсировании режима бурения станком СБШ-250МНА-32 буровой став штанг диаметром $D=219...146$ мм и длиной $l = 16...32$ м теряет динамическую устойчивость и искривляется при увеличении частоты вращения до $n = 120$ 1/мин и усилия подачи до $P_{под} = 294$ кН. Искривленный буровой став совершает вынужденные поперечные колебания с частотой вращения. При резонансе системы амплитуда колебаний бурового става может возрастать неограниченно. Поэтому вибрирующий став штанг становится источником интенсивных вибраций не только мачты, но и всего станка. Поэтому при бурении необходимо избегать критические режимы эксплуатации.

Список литературы

1. Кутузов Б. Н. Теория, техника и технология буровых работ / Б. Н. Кутузов. – М.: Недра, 1972. – 305 с.
2. Шведов В. П. Стабилизация процесса бурения взрывных скважин / В. П. Шведов, А. Ф. Дубинин, И. М. Столяров. – В сб. Взрывное дело. Бурение скважин и шпуров для взрывных работ. – М.: Недра, 1978, №79/36. – С. 69-73.
3. Кутузов Б. Н. Основные вопросы развития шарошечного бурения взрывных скважин на карьерах / Б. Н. Кутузов. – Дисс. докт. техн. наук. – М.: МГИ, 1967. – 353 с.
4. Кантович Л. И. Надежность и производительность шарошечных буровых станков / Л. И. Кантович. – В кн.: Рудник будущего. – Тезы докл. Всесоюзной конференции. – М.: 1979. – С. 66.
5. Гетопанов В. Н. О методике исследования надежности шарошечных буровых станков / В. Н. Гетопанов, Л. И. Кантович, И. К. Чатаев. – Изв. вузов. Горный журнал. – 1974. – №10. – С. 106-108.
6. Бабаев С. Г. Надежность и долговечность бурового оборудования / С. Г. Бабаев. – М.: Недра, 1974. – 184 с.
7. Кантович Л. И. Теория процессов и выбор оптимальных параметров вращательно-подающих систем станков шарошечного бурения / Л. И. Кантович. – Дисс. докт. техн. наук. – М.: МГИ, 1980. – 398 с.
8. Суханов А. Ф. Вибрация и надежность работы станков шарошечного бурения / А. Ф. Суханов, Б. Н. Кутузов, Р. Г. Шмидт. – М.: Недра, 1969. – 196 с.
9. Зайченко С. Г. Исследование и выбор методов снижения вибрации при бурении взрывных скважин в крепких горных породах станками типа СБШ-250 / С. Г. Зайченко. – Дисс. канд. техн. наук. – М.: МГИ, 1977. – 243 с.
10. Владиславлев В. С. Разрушение горных пород при бурении скважин / В. С. Владиславлев. – М.: Гостоптехиздат, 1958. – 241 с.
11. Наринский И. Э. Основы выбора параметров и конструирования мощных станков шарошечного бурения скважин в горнорудной промышленности / И. Э. Наринский. – Дисс. докт. техн. наук. – М.: МГИ, 1971. – 388 с.
12. Дозоров Т. А. Разработка и исследование акустического метода оценки свойств массива и состояния бурового инструмента / Т. А. Дозоров. – Дисс. канд. техн. наук. – М.: МГИ, 1975. – 156 с.

13. Шмидт Р. Г. Исследование и выбор оптимальных параметров вращательно-подающих механизмов и определение области рационального применения шарошечных буровых станков для открытых работ / Р. Г. Шмидт. - Дисс. канд. техн. наук. - М.: МГИ, 1972. - 143 с.
14. Солод В.И. Исследование подающего механизма бурового станка с непрерывной подачей / В. И. Солод, Л. И. Кантович, И. В. Киль, В. М. Наумкин. - Изв. вузов Горный журнал. - 1972. - №6. - С. 87-93.
15. Кантович Л.И. Статика и динамика буровых шарошечных станков / Л. И. Кантович, В.Н. Дмитриев. - М.: Недра, 1984. - 200 с.
16. Улицкий Е. Н. Исследование мощных шарошечных станков с целью совершенствования конструкции и выбора режимных параметров / Е. Н. Улицкий. - Дисс. канд. техн. наук. - М.: МГИ, 1971. - 149 с.
17. Мусарский В. З. Исследование бурения взрывных скважин шарошечными станками и разработка регулятора их производительности / В. З. Мусарский. - Автореф. дисс. канд. техн. наук. - Кривой Рог, 1971. - 21 с.
18. Дозоров Т. А. О влиянии трещиноватости горных пород на возникновение низкочастотных вертикальных колебаний бурового става / Т. А. Дозоров. - Изв. вузов. Горный журнал, 1977. - №10. - С. 65-69.
19. Иванов К. И. Повышение эксплуатационной надежности бурового станка типоразмера СБШ-250 с наддотным амортизатором / К. И. Иванов. - В сб. Станки и инструменты для бурения скважин на открытых горных работах. - Свердловск, 1974. - Вып I. - С. 11-16.
20. Кутузов Б. Н. Определение оптимальных режимов шарошечного бурения взрывных скважин на карьерах / Б. Н. Кутузов, Л. И. Кантович. - В кн.: Научные труды МИРГЭМ. - М., 1965. - №53. - С. 238-246.
21. Громадский В. А. Создание и исследование амортизатора продольных колебаний бурового става станка шарошечного бурения СБШ-250 / В. А. Громадский. - Горное оборудование и электромеханика. - № 3. - М.: Изд-во «Новые технологии», 2013. С. 32-37.
22. Сопротивление материалов / Под ред. акад. АН УССР Писаренко Г.С. - 5-е изд. переб. и доп. /. - К.: Вища школа, Гл. изд-во, 1986. - 775 с.

Рукопись поступила в редакцию 11.04.2018

УДК 622.28.04

О.Є. ЛАПШИН, д-р техн. наук, проф., А.К. ГАЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доц.,
І.А.ГАЦЬКИЙ, студент, Криворізький національний університет

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЗАПОБІЖНОГО РУХОМОГО КРІПЛЕННЯ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

Стаття присвячена розробці та обґрунтування конструктивних елементів запобіжного рухомого кріплення гірничих виробок. Відсутність зручних, надійних та мобільних захисних засобів, які могли б забезпечити безпечне виконання робіт робітниками у привибійній зоні, є проблемою на даний час в гірничодобувній промисловості, а саме у сфері проходження горизонтальних гірничих виробок.

Метою цього дослідження є розробка нового конструктивно-технологічного рішення при проведенні та кріпленні гірничих виробок в залізрудних та інших галузях гірничодобувної промисловості. Що дозволить підвищити виробничі потужності, зменшити економічні витрати, а також зберегти необхідні розміри і форму поперечного перерізу виробки, при цьому забезпечити безпечні умови для роботи людей.

Метод дослідження. Використано комплексний підхід, який включає аналіз і узагальнення науково-технічної інформації, щодо кріплення гірничих виробок різного перерізу та забезпечення безпеки працюючих гірників.

Новизна отриманих результатів полягає у тому, що запропонована конструкція запобіжного рухомого кріплення гірничих виробок не потребує застосування допоміжного транспортного засобу для її пересування та підвищує безпеку працюючих за рахунок використання рухомого модуля рам, що мають верхнє і бокове перекриття з відпрацьованої конвеєрної стрічки.

Практична цінність запропонованого запобіжного рухомого кріплення гірничих виробок полягає у тому, що досягається зниження енерговитрат за рахунок використання пневматичного двигуна, який забезпечує самостійний рух захисної конструкції. Зникає необхідність застосування спеціального обладнання для пересування по гірничим виробкам всієї захисної конструкції.

Результат полягає у тому, що зникає необхідність зайвого застосування допоміжних транспортних засобів для руху кріплення при проведенні гірничих виробок, а також розширюється можливість захисту працюючих від травмування падаючими кусками гірської породи, у різних умовах проведення гірничих виробок.

Ключові слова: запобіжне рухоме кріплення, гірничі виробки, кріплення, безпека, травмування людей, самостійний рух.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-64-68

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Аналіз травматизму на підземних рудниках за останні роки показує суттєве зростання числа нещасних випадків при проходці і кріплення гірничих виробок.

У ситуації, що склалася на даний час гостро стоїть питання про вдосконалення діючих і розробці, випробуванні та подальшому застосуванні нових способів підтримки і кріплення гірничих виробок, що проводяться в рудному масиві на великих глибинах, де часто відбуваються нещасні випадки, травмування людей та утворення завалів, що приводить до порушення технологічного циклу з відповідними їм додатковими трудовими й фінансовими втратами [1, 6].

Відсутність зручних, надійних та мобільних захисних засобів, які могли б забезпечити безпечне виконання робіт робітниками у привибійній зоні, є проблемою 21 століття у галузі шахтного будівництва, тому виникла потреба у розробці запобіжного, рухомого кріплення гірничих виробок [2].

Аналіз досліджень та публікацій. Проведений аналіз проблеми кріплення виробок у гірничій промисловості, говорить про те що, виникає необхідність створення нових конструктивних рішень, безпечних умов праці у галузі гірничих робіт. Під час проведення гірничих виробок усі роботи, повинні виконуватись під захистом запобіжного кріплення. На даний час в багатьох шахтах Кривбасу для кріплення виробок застосовуються застарілі, немобільні методи та технології зведення тимчасового кріплення, які не надають ефекту економії часу, заощадження фінансів та підвищення техніки безпеки виконання робіт [3, 7-10].

Відометимчасове запобіжнекріплення для горизонтальних виробок, яка складається з рам кріплення та блоко-тросової системи пересування (рис.1) [4]. Недоліком даної моделі є те, що її неможливо застосувати для кріплення гірничих виробок великої висоти та об'єму таких, як камери дробарок, дозаторів, водовідливів підйомних підземних шахт та інші.

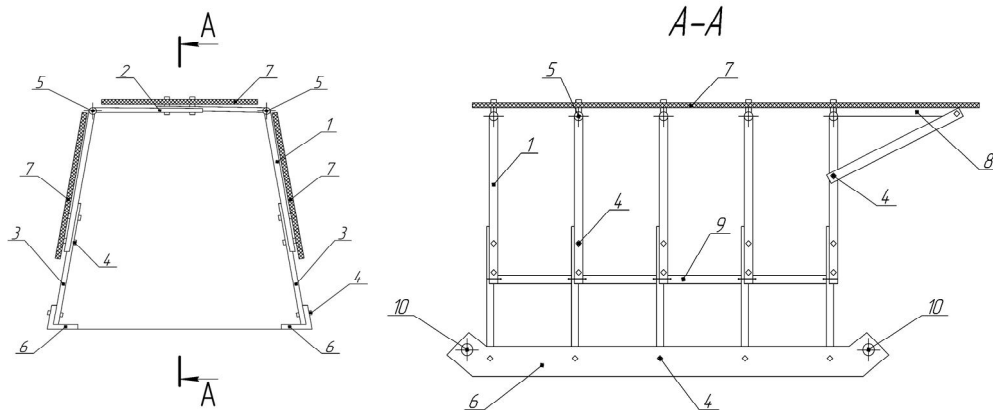


Рис. 1. Тимчасове запобіжне кріплення: 1- рами; 2 - верхняк; 3 - стійки; 4 - болти; 5 - шарніри; 6 - лижі; 7 - конвеєрна стрічка; 8 - дашок; 9 - стяжки; 10 – отвори

Найбільш близьким за конструкцією та ступенем захисту є запобіжне пересувне кріплення гірничих виробок, яке містить секції несучих рам, з'єднаних між собою планками і встановлені на металеві лижі і перекриття з відпрацьованої конвеєрної стрічки. Опори виготовляються з труб різного діаметра і з'єднуються між собою за схемою «труба в трубі» і фіксуються по висоті штирями. Для цього на трубах вирізаються наскрізні отвори однакового діаметра і на однаковій відстані один від одного. При монтажу опор отвори зовнішніх і внутрішніх труб співпадають, що дозволяє здійснити фіксацію по висоті штирями. На верхніх кінцях труб жорстко закріплені патрубки, в які вільно входять гачки, обладнані з'єднувальні рамки, що мають поперечні та повздовжні перемички. Зверху рамок на перемичках закріплена болтами конвеєрна стрічка з утворенням захисного і монтажного помосту відповідно. В монтажних помостах обладнано лаз і драбина, що дозволяє мати сполучення між ярусами помостів. Опори змонтовано на лижах, які мають з обох боків тросову петлю для пересування по виробкам (рис. 2) [5].

Недоліком відомого кріплення є те, що воно є нерухомим та потребує пересування за допомогою транспортних засобів, наприклад електровозу або породонавантажувальної машини тощо. Такий недолік знижує його захисну здатність та вимагає збільшення енерговитрат.

Постановка завдання. Основним завданням при проведенні гірничих виробок у складних гірничо-геологічних умовах є забезпечення безпеки виконуваних робіт у виробках із боковими породами схильними до обвалення, де часто відбуваються нещасні випадки. А також головним

завданням є створення нових конструктивно-технічних, мобільних рішень які полегшують працю робітників, та приводять до зменшення витрат на проведення гірничих робіт.

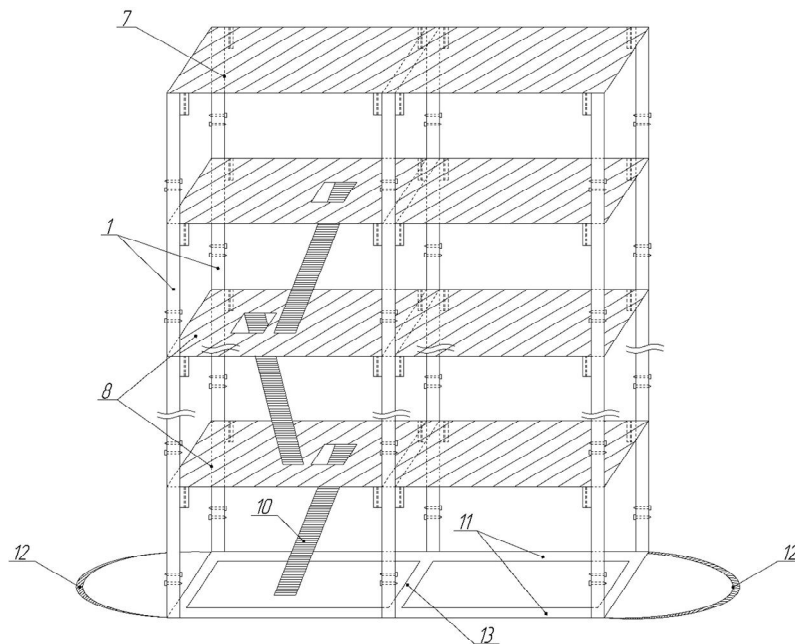


Рис. 2. Запобіжне пересувне кріплення: 1 – опори; 2 – захисний помост; 3 – монтажні помости; 4 – драбина; 5 – ліжж; 6 – петля; 7 – повздовжня перемика

Викладення матеріалу та результати. Задачею запропонованого конструктивного рішення є вдосконалення тимчасового запобіжного пересувного кріплення гірничих виробок, підвищення безпеки працюючих і зниження енерговитрат за рахунок використання самохідної установки, яка має двигун з пневмоприводом та рульове управління, що надає можливість до самостійного пересування по виробках без використання допоміжних транспортних засобів.

Технічний результат від використання даного кріплення полягає у тому, що зникає необхідність зайвого застосування допоміжних транспортних засобів та розширюється

можливість захисту працюючих різних умовах проведення гірничих виробок.

Поставлена задача вирішується тим, що запобіжне рухоме кріплення гірничих виробок, містить секції несучих рам і перекриття з відпрацьованої конвеєрної стрічки.

Секції несучих рам закріплені на платформі, яка установлена на передній і задній колісних парах і обладнана двигуном з пневматичним приводом, який з'єднаний із задньою колісною парою за допомогою черв'ячно-зубчастої передачі, а передня колісна пара має рульове управління, що складається з рульового колеса і зубчастої передачі з внутрішнім зчепленням, при цьому ведуче зубчасте колесо має шпоночне з'єднання з віссю рульового колеса, а ведене зубчасте колесо жорстко закріплене на вісі передньої колісної пари з можливістю повороту її за допомогою рульового колеса.

Розроблена конструкція запобіжного рухомого кріплення ілюструється на (рис. 3), де на (рис. 3а) – повздовжній розріз; на (рис. 3б) – вид зверху; (рис. 3в) – черв'ячно-зубчаста передача; (рис. 3г) – рульове управління передньою колісною парою.

Запобіжне рухоме кріплення функціонує наступним чином. Секції несучих рам 1 виконано з металевих труб діаметром 100 мм и 90 мм відповідно, які зверху і з боків перекриті відпрацьованою, гумовотросовою конвеєрною стрічкою 2 і закріплені болтами на металевій платформі 3 ($S=12 \text{ м}^2$), яка установлена на передній і задній колісних парах 4 і 5 відповідно ($R_{\text{колеса}}=150 \text{ мм}$). На платформі 3 обладнано двигун 6 з пневматичним приводом типу 4ПК-20Ф, що підключений гнучким шлангом 14 діаметром 25,4 мм до магістралі стисненого повітря. Змінення частоти оборотів двигуна 6 відбувається за рахунок черв'ячно-зубчастої передачі 7, вал якої виконано за формою черв'яка 15, що з'єднаний із зубчастою шестернею 16, здійснюється за допомогою рукоятки 12. Зубчаста шестерня 16 закріплена на вісі колісної пари 5 за допомогою шпоночного з'єднання. Рухоме кріплення має рульове управління, яке складається з рульового колеса 8 і зубчастої передачі з внутрішнім зчепленням. Редуктор 10, в свою чергу, складається з ведучого зубчастого колеса, яке має шпоночне з'єднання з віссю 9 рульового колеса 8, і веденого зубчастого колеса, яке жорстко закріплене на вісі передньої колісної пари 4. Обертання ведучого зубчастого колеса здійснюється за допомогою рульового колеса 8, а завдяки внутрішньому зчепленню з веденим зубчастим колесом, призводить до його обертання в системі зубчастої передачі. Оскільки редуктор жорстко закріплений на вісі передньої колісної пари 4, тому його обертання призводить до повороту цієї колісної пари. Платформа 3 обладнана кріслом машиніста 13, з якого зручно здійснювати управління за допомогою рульового ко-

леса 8, а також переключати швидкість його руху рукояткою 12. Вхідний патрубок двигуна 11 з'єднаний з магістраллю стисненого повітря за допомогою гнучкого шланга 14, що дає можливість самостійного пересування по виробці.

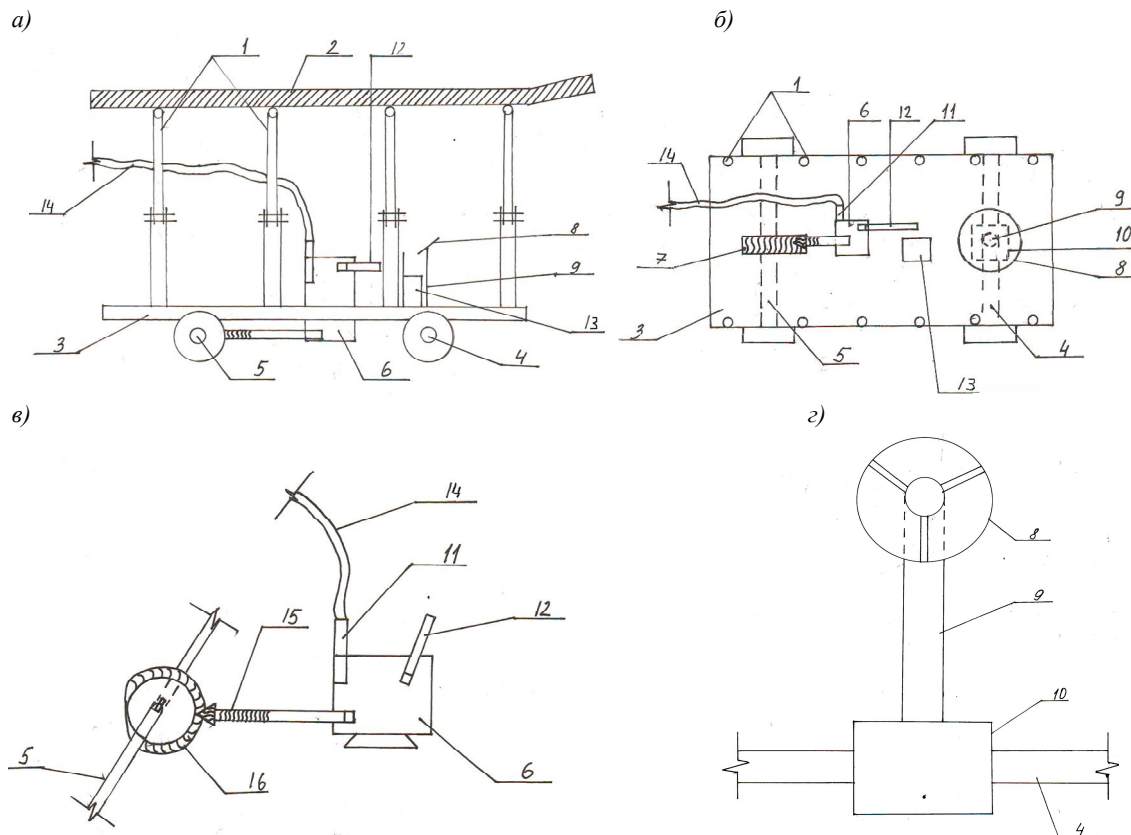


Рис. 3. Запобіжне рухоме кріплення: 1 – рами; 2 – перекриття з конвеєрної стрічки; 3 – платформа; 4 – передня колісна пара; 5 – задня колісна пара; 6 – двигун з пневматичним приводом; 7 – черв'ячно-зубчаста передача; 8 – рульове колесо; 9 – вісь рульового колеса; 10 – редуктор; 11 – патрубок; 12 – рукоятка; 13 – крісло машиніста; 14 – гнучкий шланг; 15 – черв'як; 16 – зубчаста шестерня

Висновки та напрямок подальших досліджень. Відсутність зручних, надійних та мобільних захисних засобів, які могли б забезпечити безпечне виконання робіт працівниками у привибійній зоні, є проблемою на даний час у сфері гірничорудної промисловості, тому виникла необхідність у розробці та використанні запобіжного рухомого кріплення. Запропонована модель є зручною у використанні, результатом її роботи є підвищення рівня безпеки працюючих при проведенні гірничих виробок, а також зниження енерговитрат за рахунок самостійного руху та відсутності необхідності застосування допоміжного транспортного засобу для її пересування.

Список літератури

1. Тимчасове запобіжне пересувне кріплення гірничих виробок. Патент на корисну модель №103514, Е 21D 11/00, опубл. Бюл. № 24, 2015 р. **Гацький А.К., Лапшин О.Є., Гацький І.А.**
2. Запобіжна пересувна вишка для виконання технологічних робіт в гірничих виробках. Патент на корисну модель №110317, Е 21D 11/00, опубл. Бюл. № 19, 2016 р. **Гацький А.К., Лапшин О.Є., Гацький І.А.**
3. О направлении развития технологии сооружения горизонтальных и наклонных горных выработок в сложных горно-геологических условиях / **В.В. Гамаюнов, В.П. Друцко, В.Г. Гнездилов, Б.В. Алферов, Ю.С. Шаповал** // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2004. – Вып. 51. – С. 92-102.
4. Устойчивость и крепление горных выработок. Взаимодействие крепи и пород в сложных условиях / Л., изд. ЛПИ, 1984. – 111 с.
5. **М.Н. Гелескул.** Справочник по креплению капитальных и подготовительных горных выработок. / **Гелескул М.Н., Каретников В.Н.** – М.: Недра, 1982. – 473 с.
6. Буровзрывные работы, проведение и крепление горных выработок / **С.П. Ананьев, Е.В. Китайский, И.Д. Насонов, В.Е. Нейенбург.** – М.: ГОСГОРТЕХИЗДАТ, 1961. – 97 с.
7. Основы горного дела: Учебник для вузов. — 2-е изд., стер. / **П.В. Егоров, Е.А. Бобер, Ю.Н. Кузнецов** [и др.] – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006. — С. 78-79.

8. Проведение и крепление горных выработок/ В.В. Орлов, А.М. Янчур, Н.С. Бабичев, А.М. [и др.] – М.: Недра, 1965. – 496 с.

9. Тарасов Л.Я. Проведение и крепление горных выработок./ Л.Я. Тарасов. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1957. – 516 с.

10. Гиленко В.А., Федотов В.Н., Цветков В.К. Способы и средства возведения временной крепи в подземных горизонтальных выработках. – М., 1989. – 28 с.

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

УДК 622.013:622.34

А.А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, проф., В.Ю. ЗУБКЕВИЧ, канд. техн. наук,
ст. преподаватель, Д. В. ШВЕЦ, ассистент
Криворожский национальный университет

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ

Цель. Разработка методов и средств снижения потери руд и засорения взорванной горной массы путем оперативного контроля положения наклонной скважины в массиве горных пород с использованием современных средств определения пространственной ориентации.

Метод исследования. Предложена функциональная схема и принцип работы универсального комбинированного устройства - инклинометра в сочетании с каротажным зондом, что дает возможность оперативно получать и передавать содержание полезного компонента, в соответствии с положением и ориентацией зонда в скважине.

Научная новизна. Впервые предложено объединить в единую систему каротажный зонд и инклинометр, что позволяет создать объемную модель отрабатываемого массива горных пород, позволяющая минимизировать потери и засорение взорванной горной массы.

Практическая значимость. В разработанной системе реализованы функции контроля текущей ориентации инклинометра, контроля пройденного пути вдоль перемещения инклинометра, синхронного накопления данных, подачи аварийной сигнализации через канал связи, а также предложены функции магнитометрического, радиометрического контроля и визуализации положения скважины в массиве горных пород. Суммарная информация, получаемая от инклинометров и каротажного зонда, позволяет разрабатывать трехмерные модели рудного массива, что дает возможность прогнозировать качественно-количественные параметры взорванной рудной массы и определить количество эксплуатационных скважин, отклоненных за контактную зону в область «пустых пород».

Результаты. Разработан универсальный модульный каротажный зонд наклонных скважин. Определена архитектура инклинометра, позволяющая получить необходимые основные данные по инклинометрии скважины и дополнительные каротажные данные скважины в зависимости от конкретной конфигурации инклинометра. Использование инклинометра данной конструкции позволит точно совмещать пространственные параметры наклонной скважины с ее техническими, физическими, минералогическими и химическими параметрами. Точное определение ориентации оси наклонной скважины в каждой точке пространства позволит оптимизировать процессы добычи полезных ископаемых в технологиях, использующих наклонные скважины для буровзрывных работ. Согласно прогнозным данным, использование разработанной системы, сочетающей методы каротажа скважин и инклинометрии, позволит снизить потери руд более, чем на 12 процентов, а засорение руд - на 9 процентов.

Ключевые слова: каротаж, инклинометр, скважина, железная руда, потери руд, засорение руд, оперативный контроль.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-68-76

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Доля Украины в мировом производстве железной руды составляет около 6%. На территории Украины располагается 20% мировых запасов железной руды. По запасам железорудного сырья Украина занимает первое место в мире, а по объемам производства — седьмое.

Кривбасс является центром горнометаллургического комплекса Украины. Экономический потенциал нашего государства в значительной степени зависит от состояния горнометаллургической промышленности.

Годовой объем открытой и подземной добычи железорудного сырья в Кривбассе составляет более 60 млн тонн. Вместе с тем, высокие темпы развития промышленности требуют увеличения объемов добычи руд. Балансные запасы богатой руды Кривбасса со средней массовой долей железа 56,7% составляют 1,5 млрд тонн, а железистых кварцитов со средней массовой долей железа 34,3% - 18 млрд тонн.

Обеспечение металлургического производства сырьем с заданными показателями качества является актуальной проблемой.

Одной из важнейших характеристик качества добытой руды является содержание металла в горной массе. Диапазон допустимых значений содержания металла довольно широк, но чем больше содержание полезного компонента, тем выше экономическая эффективность металлургического передела. Так, например, повышение содержания металла в руде только на 1% увеличивает производительность доменного производства на 4...5%, снижает расход кокса на 1...3% и расход известняка на 6...8% [1].

В настоящее время при добыче железорудного сырья потери руд со средним содержанием железа до 57% составляют седьмую часть от общего объема, а засорение вмещающими породами с содержанием железа 37,5% составляет шестую часть от общего объема добычи руд.

Анализ исследований и публикаций. При контроле содержания железа в рудных массивах с применением каротажных зондов в скважинах в ряде случаев не уделяется должного внимания вопросам точности измерений [2]. Ядернофизические способы определения содержания полезного компонента в руде рассмотрены в работах [3, 4], где осуществлены попытки повышения точности измерений в зависимости от количества гамма-квантов, отражающихся от поверхности поглотителя. В труде [5] рассмотрены параметры сцинтилляционных датчиков для регистрации рассеянных гамма-квантов. Также в [6] разработана математическая модель определения содержания железа в руде посредством регистрации рассеянных гамма-квантов. В работе [7] предложен учет поглощенного гамма-излучения в облучаемой горной массе.

Помимо ядернофизических методов определения содержания железа известны магнитометрический [8-10] и ультразвуковой методы [11, 12]. Однако магнитометрический метод позволяет определять содержание только магнитного железа в исследуемой горной массе, а ультразвуковой контроль затруднительно использовать при каротаже взрывных скважин.

Опыт Запорожского железорудного комбината показал, что отработка месторождения с закладкой позволяет значительно снизить потери руд и засорение взорванной горной массы. Кроме того, исключаются провалы отработанных месторождений, что улучшает экологию и позволяет рекультивировать и восстановить плодородные земли.

В Кривбассе не используется система разработки месторождения с закладкой, следовательно, изменить установившуюся систему разработки месторождения является чрезвычайно трудоемкой и затратной процедурой.

Одним из основных источников потери руд и засорения взорванной горной массы является выпуск руды из дучек. Существует различные способы повышения эффективности процесса выпуска.

На стадии подготовительных работ для добычи руд потери и разубоживание составляют 3-5% [13]. Однако, после буровзрывных работ эти цифры увеличиваются в разы и составляют 13-25 процентов. Опыт работы показывает, что наиболее рациональными и эффективными методами снижения как потери руд, так и засорения взорванной горной массы пустыми породами, являются картаж скважин и инклинометрия.

Постановка задания. Разработать методы снижения потерь руд и засорения взорванной горной массы на основе дистанционного измерения пространственного положения наклонной скважины с использованием современных средств определения пространственной ориентации.

Изложение материала и результаты. Существующие методы и способы снижения потери руд можно объединить в комплекс организационно-технических мероприятий, состоящий из:

- выбора системы отработки месторождения;
- буровзрывных работ;
- выпуска руды из дучек;
- каротажа взрывных скважин;
- инклинометрии.

Инклинометры по праву считаются основными средствами производства измерений в скважинах. Электронный инклинометр предназначен для контроля положения взрывных скважин в рудном массиве, что позволяет определять зенитный и азимутальные углы и оперативно контролировать положение скважины в массиве. Инклинометрия предотвращает переход скважин в контактную зону «руда-порода», что в конечном итоге снижает потери. При этом фикси-

руется искривление скважины, что по данным статистики составляет до 15% от глубины скважины.

Суммарная информация, получаемая от инклинометров и каротажного зонда, позволяет разрабатывать трехмерные модели рудного массива, что дает возможность прогнозировать качественно-количественные параметры взорванной рудной массы и определить количество эксплуатационных скважин, отклоненных за контактную зону в область «пустых пород». Кроме того, при большом расстоянии между скважинами, определяется необходимость бурения дополнительной скважины, для исключения потери руд и сверхнормативного выхода негабаритов.

Ниже приведены функциональная схема, алгоритм и принцип работы инклинометра в сочетании с каротажным зондом.

Основным достоинством такого совмещения является получение каротажных данных в соответствии с положением и ориентацией каротажного зонда в каждый момент времени.

В данном инклинометре предусматриваются следующие основные функции:

задание начальных значений положения инклинометра;
контроль текущей ориентации инклинометра;
контроль пройденного пути вдоль перемещения инклинометра;
синхронное накопление данных;
канал связи для диагностики и аварийной сигнализации.

Дополнительные функции:

магнитометрический контроль;
радиометрический контроль;
видеометрический контроль.

Дополнительные функции могут использоваться в зависимости от целей каротажа наклонных скважин.

Таким образом, инклинометр представляет собой универсальный модульный каротажный зонд наклонных скважин.

Функциональная схема универсального инклинометра представлена на рис. 1.

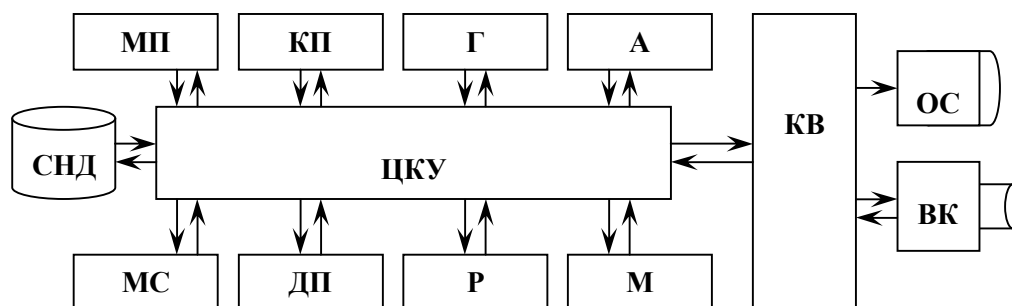


Рис 1. Функциональная схема универсального инклинометра

Модули основных функций универсального инклинометра: МП-модуль питания, КП - контроллер питания, Г - гироскоп, А – акселерометр, СНД - съемный накопитель данных, ЦКУ- центральный контроллер управления, МС - модуль связи для диагностики и аварийной сигнализации, ДП - датчик пути.

Модули дополнительных функций: Р – радиометр, М – магнитометр, КВ – контроллер видео канала, ОС – осветитель, ВК - видео камера.

Без дополнительных функций универсальный инклинометр выполняет только инклинометрию наклонных скважин, т.е. контроль пространственного положения оси скважины.

Порядок работы инклинометра заключается в следующем:

определение и установка начальных значений;
прямая инклинометрия наклонной скважины;
обратная инклинометрия наклонной скважины (опционально);
непрерывная диагностика и сигнализация состояния инклинометра;
обработка накопленных данных.

При инклинометрии наклонной скважины используются две системы координат: неподвижная базисная система координат OZYX, которая должна быть привязана к некоторой известной начальной ориентации (например, к глобальной географической системе координат Земли

или к известной геодезической системе координат из проектной документации) и подвижная локальная система координат $Ozyx$, жестко связанная с универсальным каротажным зондом инклинометра.

Ориентацию инклинометра в пространстве скважины определяем изменением углов Эйлера аэрокосмической последовательности [14-16], а именно:

курс инклинометра (азимут скважины) – угол ϑ (вращение вокруг оси Oz локальной системы координат);

тангаж инклинометра (угол наклона скважины со знаком минус) – угол ψ (вращение вокруг оси Oy локальной системы координат);

крен инклинометра – угол φ (вращение вокруг оси Ox локальной системы координат, являющейся направлением перемещения инклинометра).

Для определения пространственной ориентации инклинометра вдоль оси скважины необходимо решить дифференциальное уравнение Пуассона [14, 15, 17] в кватернионном виде, которое будет иметь вид

$$P'(t) = \frac{1}{2} P(t) \otimes \bar{\omega}(t),$$

где $P'(t)$ – производная по времени кватерниона ориентации; $P(t)$ – кватернион ориентации; $\bar{\omega}(t)$ – вектор угловой скорости локальной системы координат.

Перед началом работы инклинометра необходимо задать начальные установки. Численное решение (интегрирование) уравнения Пуассона дает текущую ориентацию инклинометра, совпадающую с пространственным положением оси скважины в данной точке.

Для получения значений текущей ориентации необходимо определить начальные установки [18, 19] инклинометра, в которые входят:

начальная ориентация базисной системы координат;

систематическая аддитивная составляющая погрешности по осям гироскопа (Γ , см. рис. 1), как среднее значение осей гироскопа за время определения и установка начальных значений;

усредненные данные значений по каждой из осей акселерометра (A , см. рис. 1) за время определения и установка начальных значений.

При определении начальных установок инклинометра его положение должно быть неподвижным с фиксированной ориентацией локальной системы координат, совпадающей с базисной системой координат.

Принимаем начальное значение угла курса $\vartheta_0 = 0$. Тогда, учитывая то, что $\cos(0)=1$, а $\sin(0)=0$, получим матрицу поворота [20-23]:

$$M_{ZYX}(0) = \begin{bmatrix} \cos(\psi_0) & \sin(\psi_0)\sin(\varphi_0) & \sin(\psi_0)\cos(\varphi_0) \\ 0 & \cos(\varphi_0) & -\sin(\varphi_0) \\ -\sin(\psi_0) & \cos(\psi_0)\sin(\varphi_0) & \cos(\psi_0)\cos(\varphi_0) \end{bmatrix}.$$

Умножим вектор ускорения свободного падения в неподвижной системе координат на $M_{ZYX}(0)$ и получим показания акселерометра при неподвижной локальной системе координат

$$\begin{bmatrix} A_x(0) \\ A_y(0) \\ A_z(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{bmatrix} \otimes M_{ZYX}(0) = \begin{bmatrix} g \cdot \sin(\psi_0) \\ -g \cdot \cos(\psi_0)\sin(\varphi_0) \\ -g \cdot \cos(\psi_0)\cos(\varphi_0) \end{bmatrix}.$$

Значения показаний акселерометра по осям локальной системы координат в неподвижном (калибровочном) состоянии составят

$$A_x(0) = g \cdot \sin(\psi_0); A_y(0) = -g \cdot \cos(\psi_0)\sin(\varphi_0); A_z(0) = -g \cdot \cos(\psi_0)\cos(\varphi_0).$$

$A_x(0)$, $A_y(0)$ и $A_z(0)$ получены, как усредненные данные ряда измерений акселерометра при неподвижной локальной системе координат, но предварительно ориентированной по курсу в заданном направлении некоторой известной ориентации, которую и принимаем за начальный угол курса $\vartheta_0 = 0$.

Тогда, начальное значение тангажа можно определить, как

$$\psi_O = \text{Arctg} \frac{A_X}{\sqrt{A_Y^2 + A_Z^2}}.$$

Начальное значение крена можно определить, как

$$\varphi_O = \text{Arctg} \frac{A_Y}{A_Z}.$$

Начальный кватернион ориентации составит

$$P_{ZYX}(0) = \{q_W(0) + i \cdot q_X(0) + j \cdot q_Y(0) + k \cdot q_Z(0)\},$$

где

$$q_W(0) = \cos\left(\frac{\psi_O}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\varphi_O}{2}\right),$$

$$q_X(0) = \cos\left(\frac{\psi_O}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\varphi_O}{2}\right),$$

$$q_Y(0) = \sin\left(\frac{\psi_O}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\varphi_O}{2}\right),$$

$$q_Z(0) = -\sin\left(\frac{\psi_O}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\varphi_O}{2}\right).$$

Окончательно, в развернутом виде начальный кватернион ориентации будет равен

$$P_{ZYX}(0) = \left\{ \cos\left(\frac{\psi_O}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\varphi_O}{2}\right) + i \cdot \cos\left(\frac{\psi_O}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\varphi_O}{2}\right) + j \cdot \sin\left(\frac{\psi_O}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\varphi_O}{2}\right) - k \cdot \sin\left(\frac{\psi_O}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\varphi_O}{2}\right) \right\}.$$

Для заданного кватерниона $P_{ZYX} = \{q_W + i \cdot q_X + j \cdot q_Y + k \cdot q_Z\}$ матрица поворота может быть записана [24], как

$$M_{(qi)} = \begin{bmatrix} 2q_W^2 - 1 + 2q_X^2 & 2q_Xq_Y + 2q_Wq_Z & 2q_Xq_Z - 2q_Wq_Y \\ 2q_Xq_Y - 2q_Wq_Z & 2q_W^2 - 1 + 2q_Y^2 & 2q_Yq_Z + 2q_Wq_X \\ 2q_Xq_Z + 2q_Wq_Y & 2q_Yq_Z - 2q_Wq_X & 2q_W^2 - 1 + 2q_Z^2 \end{bmatrix}$$

или

$$M_{ZYX} = \begin{bmatrix} \cos(\vartheta)\cos(\psi) & \cos(\vartheta)\sin(\psi)\sin(\varphi) - \sin(\vartheta)\cos(\varphi) & \cos(\vartheta)\sin(\psi)\cos(\varphi) + \sin(\vartheta)\sin(\varphi) \\ \sin(\vartheta)\cos(\psi) & \sin(\vartheta)\sin(\psi)\sin(\varphi) + \cos(\vartheta)\cos(\varphi) & \sin(\vartheta)\sin(\psi)\cos(\varphi) - \cos(\vartheta)\sin(\varphi) \\ -\sin(\psi) & \cos(\psi)\sin(\varphi) & \cos(\psi)\cos(\varphi) \end{bmatrix}.$$

Контроль ориентации осуществляется следующим образом: в каждый момент времени, считывая показания гироскопа, получаем значения угловых скоростей относительно осей локальной (подвижной) системы координат:

$$\omega_Z(t_Z, \Delta t_Z); \omega_Y(t_Y, \Delta t_Y); \omega_X(t_X, \Delta t_X),$$

где t_z - момент времени измерения (считывания) угловой скорости вокруг оси Oz; Δt_z - интервал времени следующего измерения угловой скорости вокруг оси Oz; t_y - момент времени измерения (считывания) угловой скорости вокруг оси Oy; Δt_y - интервал времени следующего измерения угловой скорости вокруг оси Oy; t_x - момент времени измерения (считывания) угловой скорости вокруг оси Ox; Δt_x - интервал времени следующего измерения угловой скорости вокруг оси Ox.

Интегрируя (численно) по времени угловые скорости по каждой оси координат за интервал измерения, получаем соответствующие углы поворота (курса, тангажа и крена). В качестве численного интегрирования применим метод трапеций.

Тогда изменение курса будет равно

$$\Delta \vartheta(t_Z, \Delta t_Z) = \frac{1}{2} \langle \omega_Z(t_Z) + \omega_Z(t_Z + \Delta t_Z) \rangle \cdot \Delta t_Z,$$

изменение тангажа

$$\Delta \psi(t_Y, \Delta t_Y) = \frac{1}{2} \langle \omega_Y(t_Y) + \omega_Y(t_Y + \Delta t_Y) \rangle \cdot \Delta t_Y,$$

изменение крена

$$\Delta\varphi(t_x, \Delta t_x) = \frac{1}{2} \langle \omega_x(t_x) + \omega_x(t_x + \Delta t_x) \rangle \cdot \Delta t_x.$$

Определяем кватернионы поворотов вокруг осей.

Кватернион поворота вокруг оси Oz на угол $\Delta\vartheta(t_z, \Delta t_z)$

$$p_z(t_z, \Delta t_z) = \left\{ \cos\left(\frac{\Delta\vartheta(t_z, \Delta t_z)}{2}\right) \quad i \cdot 0 \quad j \cdot 0 \quad k \cdot \sin\left(\frac{\Delta\vartheta(t_z, \Delta t_z)}{2}\right) \right\}.$$

Кватернион поворота вокруг оси Oy на угол $\Delta\psi(t_y, \Delta t_y)$

$$p_y(t_y, \Delta t_y) = \left\{ \cos\left(\frac{\Delta\psi(t_y, \Delta t_y)}{2}\right) \quad i \cdot 0 \quad j \cdot \sin\left(\frac{\Delta\psi(t_y, \Delta t_y)}{2}\right) \quad k \cdot 0 \right\}.$$

Кватернион поворота вокруг оси Ox на угол $\Delta\varphi(t_x, \Delta t_x)$

$$p_x(t_x, \Delta t_x) = \left\{ \cos\left(\frac{\Delta\varphi(t_x, \Delta t_x)}{2}\right) \quad i \cdot \sin\left(\frac{\Delta\varphi(t_x, \Delta t_x)}{2}\right) \quad j \cdot 0 \quad k \cdot 0 \right\}.$$

Кватернион «мгновенного» поворота

$$\Delta P_{ZYX}(t_z, \Delta t_z, t_y, \Delta t_y, t_x, \Delta t_x) = p_x(t_x, \Delta t_x) \otimes p_y(t_y, \Delta t_y) \otimes p_z(t_z, \Delta t_z).$$

Текущая ориентация является композицией кватернионов мгновенных поворотов, включая кватернион начальной ориентации

$$P_{ZYX}\left(t = \sum_{i=1}^n \Delta t_i\right) = \Delta P_{ZYX}(t=0, \Delta t_1) \otimes \Delta P_{ZYX}(t=\Delta t_1, \Delta t_2) \otimes \Delta P_{ZYX}(t=\Delta t_1 + \Delta t_2, \Delta t_3) \otimes \dots \otimes \Delta P_{ZYX}\left(t = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta t_i, \Delta t_n\right).$$

Запишем его в виде

$$P_{ZYX}(t) = \{P_1(t) + i \cdot P_2(t) + j \cdot P_3(t) + k \cdot P_4(t)\}.$$

Тогда углы Эйлера аэрокосмической последовательности будут выглядеть следующим образом:

угол курса

$$\vartheta(t) = \text{Arctg} \frac{2P_2(t) \cdot P_3(t) - 2P_1(t) \cdot P_4(t)}{2P_1^2(t) - 1 + 2P_2^2(t)};$$

угол тангажа

$$\psi(t) = -\text{Arc} \sin \langle 2P_2(t) \cdot P_4(t) + 2P_1(t) \cdot P_3(t) \rangle;$$

угол крена

$$\varphi(t) = \text{Arctg} \frac{2P_3(t) \cdot P_4(t) - 2P_1(t) \cdot P_2(t)}{2P_1^2(t) - 1 + 2P_4^2(t)}.$$

Если в качестве оси перемещения выбрать ось Ox локальной (подвижной) системы координат, то, очевидно, что вектор приращения перемещения в этой системе координат на каждом шаге составит

$$\Delta \bar{S}_{xyz}(t) = [\Delta s_x(t) \quad 0 \quad 0].$$

Тогда в базисной системе координат вектор пути будет

$$\Delta \bar{S}_{XYZ}(t) = [\Delta S_X(t) \quad \Delta S_Y(t) \quad \Delta S_Z(t)].$$

Для определения вектора приращения перемещения в базисной системе координат необходимо вектор приращения перемещения в локальной системе координат $\Delta \bar{S}_{x'y'z'}$ умножить на матрицу поворота $M_{ZYX}(t)$ или на матрицу поворота $M_{(Pi)}(t)$.

Таким образом

$$\Delta \bar{S}_{XYZ}(t) = \Delta \bar{S}_{xyz}(t) \otimes [M_{ZYX}(t)]^T,$$

$$\Delta \bar{S}_{XYZ}(t) = \begin{bmatrix} \Delta s_x(t) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} \cos\vartheta(t) \cdot \cos\psi(t) & \cos\vartheta(t) \cdot \sin\psi(t) \cdot \sin\varphi(t) - \sin\vartheta(t) \cdot \cos\varphi(t) & \cos\vartheta(t) \cdot \sin\psi(t) \cdot \cos\varphi(t) + \sin\vartheta(t) \cdot \sin\varphi(t) \\ \sin\vartheta(t) \cdot \cos\psi(t) & \sin\vartheta(t) \cdot \sin\psi(t) \cdot \sin\varphi(t) + \cos\vartheta(t) \cdot \cos\varphi(t) & \sin\vartheta(t) \cdot \sin\psi(t) \cdot \cos\varphi(t) - \cos\vartheta(t) \cdot \sin\varphi(t) \\ -\sin\psi(t) & \cos\psi(t) \cdot \sin\varphi(t) & \cos\psi(t) \cdot \cos\varphi(t) \end{bmatrix}^T,$$

откуда

$$\begin{aligned}\Delta S_X(t) &= \cos \vartheta(t) \cdot \cos \psi(t) \cdot \Delta s_{x'}(t), \\ \Delta S_Y(t) &= \sin \vartheta(t) \cdot \cos \psi(t) \cdot \Delta s_{x'}(t), \\ \Delta S_Z(t) &= -\sin \psi(t) \cdot \Delta s_{x'}(t)\end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned}\Delta \bar{S}_{XYZ} &= \Delta \bar{S}_{x'y'z'}(t) \otimes [M_{(Pi)}(t)]^T, \\ \Delta \bar{S}_{XYZ}(t) &= \begin{bmatrix} \Delta s_{x'}(t) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 2P_1^2(t)-1+2P_2^2(t) & 2P_2(t) \cdot P_3(t)+2P_1(t) \cdot P_4(t) & 2P_2(t) \cdot P_4(t)-2P_1(t) \cdot P_3(t) \\ 2P_2(t) \cdot P_3(t)-2P_1(t) \cdot P_4(t) & 2P_1^2(t)-1+2P_3^2(t) & 2P_3(t) \cdot P_4(t)+2P_1(t) \cdot P_2(t) \\ 2P_2(t) \cdot P_4(t)+2P_1(t) \cdot P_3(t) & 2P_3(t) \cdot P_4(t)-2P_1(t) \cdot P_2(t) & 2P_1^2(t)-1+2P_4^2(t) \end{bmatrix}^T,\end{aligned}$$

откуда

$$\begin{aligned}\Delta S_X(t) &= \langle 2P_1^2(t)-1+2P_2^2(t) \rangle \cdot \Delta s_{x'}(t), \\ \Delta S_Y(t) &= \langle 2P_2(t) \cdot P_3(t)-2P_1(t) \cdot P_4(t) \rangle \cdot \Delta s_{x'}(t), \\ \Delta S_Z(t) &= \langle 2P_2(t) \cdot P_4(t)+2P_1(t) \cdot P_3(t) \rangle \cdot \Delta s_{x'}(t).\end{aligned}$$

Согласно прогнозных данных, сочетание этих двух методов каротажа скважин и инклинометрии позволит снизить потери руд более 12 процентов, а засорение - на 9 процентов.

На рис. 2 приведены гистограммы общего объема добычи, потери руд и засорения горной массы до (а) и после (б) внедрения комбинированного каротажного устройства, состоящего из каротажного зонда, инклинометра и видеокамеры.

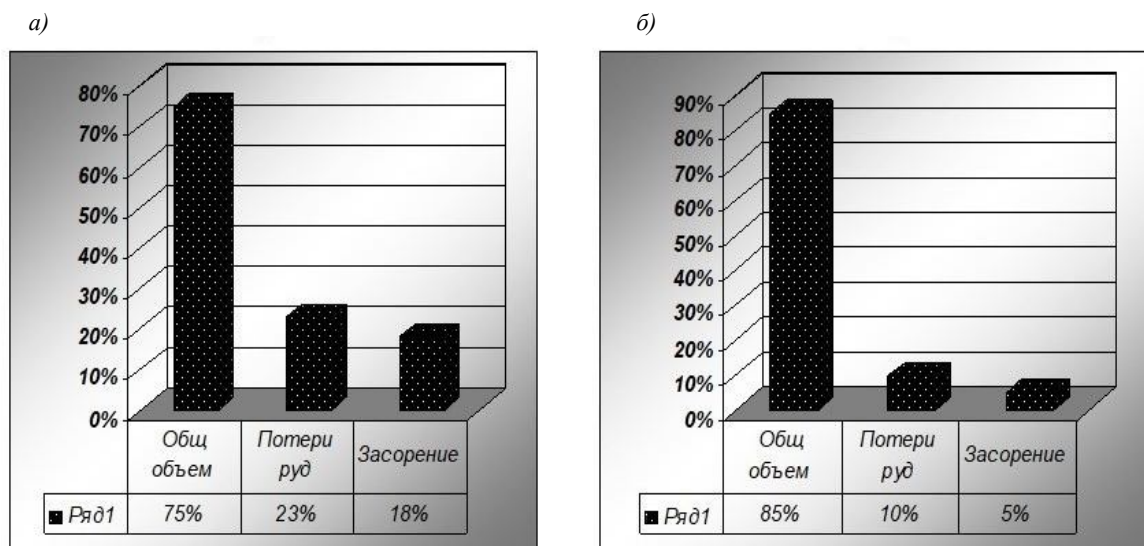


Рис. 2. Гистограммы общего объема добычи, потери руд и засорения горной массы до (а) и после (б) внедрения комбинированного каротажного устройства

Выводы и направления дальнейших исследований. Точное определение ориентации оси наклонной скважины в каждой точке пространстве играет важную роль для оптимизации процессов добычи полезных ископаемых в технологиях, использующих наклонные скважины для буровзрывных работ.

В данной статье рассмотрены принципиальные возможности дистанционного измерения пространственного положения наклонной скважины с использованием современных средств определения пространственной ориентации. Определены основные и дополнительные задачи и функции инклинометра, представляющего собой универсальный модульный каротажный зонд наклонных скважин. Определена архитектура инклинометра, позволяющая получить необходимые основные данные по инклинометрии скважины и дополнительные каротажные данные скважины в зависимости от конкретной конфигурации инклинометра. Таким образом, использование такого инклинометра позволит точно совмещать пространственные параметры наклон-

ной скважины с ее техническими, физическими, минералогическими и химическими параметрами.

Список литературы

1. **Азарян А. А., Колосов В. А., Ломовцев Л. А., Учитель А. Д.** Качество минерального сырья. – Кривой Рог: Минерал, 2001 – 201 с
2. **Azaryan, A. A., Gritsenko A. N.** Mobile station for logging of blast holes // *Novi technologii*. 2011. №4. P. 52–55.
3. **Azaryan, A.** Use of Bourger Lambert Bera law for the operative control and quality management of mineral raw materials // **A. Azaryan, V. Azaryan.** Metallurgical and Mining Industry. 2015. No. 1. P. 4-9.
4. **Necati Çelik, Uğur Çevik, Ahmet Çelik.** Effect of detector collimation on the measured mass attenuation coefficients of some elements for 59.5–661.6 keV gamma-rays / *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. Volume 281, 15 June 2012, Pages 8-14.
5. **Azaryan, A.** Research of influence single crystal thickness NaI (TL) on the intensity of the integrated flux of scattered gamma radiation // *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. №2. P. 43–46.
6. **Azaryan, A.** Use of Bourger Lambert Bera law for the operative control and quality management of mineral raw materials // **A. Azaryan, V. Azaryan.** Metallurgical and Mining Industry. 2015. No. 1. P. 4-9.
7. Development of a method for operational control over quality of the iron ore raw materials during open and underground extraction / **A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, D. Shvets** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Issue 5 (95). P. 13-19. doi: 10.15587/1729-4061.2018.144003
8. **Azaryan A., Pikilnyak A., Shvets D.** Complex automation system of iron ore preparation for beneficiation / *Metallurgical and mining industry*. No.8. 2015. p.p. 64–66. https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_8/011Azaryan.pdf
9. **Азарян А. А., Дрыга В. В., Цыбулевский Ю. Е.** Исследование автогенераторного метода контроля содержания железа магнитного в продуктах обогащения // *Качество минерального сырья: сб. науч. трудов. Академия горных наук Украины, КТУ, Укррудпром; гл. ред. В. Ф. Бызов. Кривой Рог. 2005. С. 117-123.*
10. **Швец Д. В.** Автоматическое управление процессом измельчения магнетитовых руд на основе определения их прочности. / *Сборник научных трудов "Качество минерального сырья", том 2. Кривой Рог. 2018.*
11. **Morkun, V., Morkun, N., Pikilnyak, A.** The study of volume ultrasonic waves propagation in the gas-containing iron ore pulp // *Ultrasonics*. Volume 56. 2015. p.p.340-343. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0041624X14002443>
12. **Поркуян О. В., Сотникова Т. Г.** Комбинированный метод определения относительного содержания магнетита в твердой фазе железорудной пульпы / *Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ". № 12. Харьков. НТУ "ХПИ". 2010. С. 29-36.*
13. Система управления качеством руд с применением радиометрических методов на действующих горнодобывающих предприятиях / **В. И. Ревнивцев, Е. И. Крапивский, Е. П. Леман** и др. // *Тезисы докладов Всесоюзного семинара Электронные методы обогащения. -М., 1985. -С. 10-11.*
14. **Бранец В. Н., Шмыглевский И. П.** Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела. — М.: Наука. 1973. — 320 с.
15. **Челноков Ю. Н.** Кватернионные и бикватернионные модели и методы механики твердого тела и их приложения. — М.: Физматлит, 2006. — 512 с.
16. **J. B. Kuipers.** Quaternions and Rotation Sequences: A Primer with Applications to Orbits, Aerospace and Virtual Reality. Princeton University Press, 1999.
17. **Журавлев В. Ф.** Основы теоретической механики. Изд. 2-е, перераб. — М.: Физматлит, 2001. — 320 с.
18. **Липтон Н.** Начальная выставка инерциальной системы на подвижном основании / **Н. Липтон** // М.: Наука, 1971. — 167 с.
19. **Збруцький О.В.** Розробка структури та алгоритму функціонування інтегрованої навігаційної системи визначення координат і курсу рухомого об'єкта / **О.В. Збруцький, О.І. Нестеренко, О.В. Прохорчук** // *Вісник ТАУ, УТУ. — 1999. — №3. — С. 233–236.*
20. **Красовский А. А.** Теоретические основы пилотажно-навигационных комплексов / **А. А. Красовский, А. В. Лебедев, В. В. Невструев** // М.: ВВИА им. Жуковского, 1980. — 372 с.
21. **Алешин Б. С.** Ориентация и навигация подвижных объектов. — М.: Физматлит, 2006. — 422 с.
22. **Бранец В.Н.** Введение в теорию бесплатформенных инерциальных навигационных систем / **В. Н. Бранец, И. П. Шмыглевский** // М.: Наука, 1992. — 280 с.
23. **Дмитриев С. П.** Инерциальные методы в инженерной геодезии / **С. П. Дмитриев** // С.-Петербург: ГНЦ РФ - ЦНИИ "Электроприбор", 1997. — 208 с.
24. **J. B. Kuipers.** Quaternions and Rotation Sequences: A Primer with Applications to Orbits, Aerospace and Virtual Reality. Princeton University Press, 1999.

Рукопись поступила в редакцию 05.04.2018

УДК 622.271

В.І. ПАХОМОВ, канд. техн. наук, доц., І.В. ГІРІН, М.Г. ПРИСТИНСЬКИЙ, старші викладачі
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСКАВАТОРНО-АВТОМОБІЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ НА КАР'ЄРАХ КРИВБАСУ

Мета. Комплексне дослідження сталого стану транспортування гірничої маси при відкритому способі видобутку корисних копалин гірничо-металіргійних комплексів Кривбасу з зазначенням проблем, які потрібно вирішити для підвищення виробничої потужності технологічного кар'єрного автотранспорту.

Методи дослідження. У роботі виконано аналітичні дослідження з використанням вітчизняних статистичних показників стосовно подальших перспектив оптимізації екскаваторно-автомобільних комплексів великої потужності. Застосовано комплексний підхід, що включає узагальнення і аналіз літературних джерел і досліджень в галузі автомобільного кар'єрного транспорту. Використано комплекс методів: узагальнення матеріалів раніше виконаних робіт; експертний аналіз; аналіз досвіду розробки розкритих порід і залізних руд в умовах Кривбасу; методи прикладної математики і математичної статистики; техніко-економічний аналіз з використанням вартісних параметрів.

Наукова новизна. В прийняті рішення щодо розподілу самоскидів по пунктах навантаження врахований параметр аналітичної залежності взаємозв'язку коефіцієнтів використання часу екскаватора і автосамоскидів; обґрунтовані залежності оптимальної кількості закріплених за екскаватором автосамоскидів від відстані перевезення гірничої маси і, відповідно, оптимальної величини при цьому коефіцієнта використання часу екскаватора, що відрізняється тим, що її використання мінімізує втрати від простоїв обладнання для різної кількості працюючих самоскидів, а також дозволяє формувати набір оптимальних значень параметрів пріоритетності екскаваторів;

Практична значимість. Дослідження, проведені в даній роботі, дають можливість моделювання та оптимізації різних ситуацій при застосуванні екскаваторно-автомобільних комплексів з урахуванням специфіки технологічних факторів і гірничо-технічних умов конкретних підприємств. Використання запропонованих аналітичних досліджень дає можливість підвищити експлуатаційну продуктивність екскаваторно-автомобільних комплексів за рахунок зниження простоїв обладнання і в результаті цього збільшити продуктивність кар'єра в цілому.

Результати. За рахунок проведених аналітичних досліджень характеристик екскаваторно-автомобільних комплексів отримані залежності оптимальної кількості закріплених за екскаватором автосамоскидів від відстані перевезення гірничої маси. Встановлено, що при оптимальній кількості закріплених автосамоскидів забезпечується максимальна продуктивність забійного екскаватора. Розглянуті можливі напрямки досліджень, впровадження результатів яких дозволило б досягти підвищення виробничої потужності екскаваторно-автомобільних комплексів при відкритому способі розробки родовищ корисних копалин.

Ключові слова: екскаваторно-автомобільний комплекс, кар'єрний автотранспорт, перевезення гірничої маси.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-76-81

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями Завдання скорочення витрат шляхом більш ефективного використання і самоскидів, й екскаваторів у складі екскаваторно-автомобільних комплексів є першочерговим завданням диспетчеризації кар'єрного автотранспорту. Диспетчеризація є динамічним процесом, що вимагає безперервного моніторингу маршрутів, типорозміру та місця розташування кар'єрних самоскидів і екскаваторів з метою знаходження раціонального розподілу. Застосовуючи диспетчеризацію, можна розраховувати або на підвищення продуктивності екскаваторно-автомобільного комплексу з наявним парком техніки, або на забезпечення бажаної продуктивності з меншою кількістю техніки. Ця мета досягається шляхом скорочення простоїв і поліпшення тим самим використання техніки. Кар'єрні самоскиди продуктивні лише тоді, коли перевозять гірську масу, а вантажні машини - коли завантажують гірську масу в самоскид. Простої характеризують непродуктивне використання техніки і повинні бути оптимізовані, тобто зведені до мінімуму.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанням організації, планування і моделювання роботи кар'єрного автотранспорту присвячені роботи вітчизняних і зарубіжних вчених і фахівців, таких як К.Н. Трубецкой, Ю.А. Монастирський, А.А. Кулешов, І.В. Зирянов, Б.Л. Геріке, А.Ф. Клебанов, Ю.В. Стенін, О.Н. Вусейкова, М.Є. Корягін, А.Б. Логів, а також S. Alarie, C. Burt, M. Gamache і багато інших. Аналіз досліджень показав, що імовірна природа вантажно-транспортного процесу ЕАК при вирішенні задачі розподілу кар'єрних самоскидів враховується в них недостатньо. У найбільш поширених диспетчерських критеріях пропонується, як правило, лише один аспект роботи ЕАК (простої тільки екскаваторів або тільки самоскидів). Аналіз наукової літератури з питань техніко-економічної оцінки експлуатації екскаваторно-автомобільних комплексів, обґрунтування раціональної кількості автосамоскидів в його складі

показав, що склалися усталені принципи обґрунтування параметрів ЕАК для екскаваторів циклічної дії. При цьому питання оптимізації відроджувалися постійно, у міру розвитку і вдосконалення основних процесів і механічного устаткування, яке застосовується у кар'єрах. Головне питання, яке слід розв'язати при оптимізації, це вплив гірничотехнічних умов і часу корисного використання автосамоскидів на продуктивність головної машини (з огляду на зміни її конструкції, форми ковша і т.ін.), яка визначає продуктивність екскаваторного-автомобільного комплексу та величину витрат.

Ознайомлення з досвідом роботи кар'єрів, відображеному у періодичній науковій літературі останніх років, виявило відсутність помітних досягнень в області організації виробництва, в справі скорочення простоїв обладнання. Більш того, провідні фахівці в цій галузі відзначають, що на вітчизняних кар'єрах до сих пір використовуються фактично ті ж методи організації відкритих гірських робіт, що і 50 років тому. В результаті рівень використання екскаваторів (у тому числі і високопродуктивних імпорتنих) на більшості кар'єрів не зазнав змін і залишається в межах 50-60% календарного часу. Стверджується, що в даному питанні практика значно відстала від теорії організації виробництва і управління [1-9]. Крім того, традиційний спосіб організації навантажувально-транспортного процесу по «зачиненому циклу» призводить і до значних простоїв кар'єрних самоскидів.

Постановка завдання. Недосконалість існуючих способів оптимізації роботи екскаваторно-автомобільного комплексу обумовлена використанням, як правило, емпіричних формул, встановлених для розрахунку продуктивності вже застарілого обладнання, тому заміна або часткове коригування цих залежностей, включаючи методи та інструментарій визначення параметрів процесів, є актуальним завданням. Повсюдний перехід на нове, більш потужне обладнання, як це відбувається в кар'єрах Кривбасу, вимагає перегляду раніше встановлених залежностей, що складають методичну основу оптимізації для забезпечення високоєфективної роботи технологічного обладнання екскаваторного-автомобільного комплексу.

Викладення матеріалу та результати. Відкритий спосіб розробки твердих корисних копалин є переважаючим в усьому світі, зокрема, в Україні і країнах ближнього зарубіжжя. Питомо вага відкритого способу видобутку за останні десятиліття в Україні досягла високого рівня (в середньому близько 75%) і, за прогнозами, буде довго зберігатися на цьому рівні. Висока питома вага відкритого способу пояснюється його перевагами перед підземним способом: продуктивність праці вище в 3-4 рази по рудним кар'єрам і в 10-11 разів по вугільним; собівартість продукції нижче в 3-4 рази; терміни будівництва підприємств скорочуються в 2-3 рази [10-17]. Розкривні і видобувні роботи на кар'єрах виконуються переважно екскаваторного-автомобільними комплексами (ЕАК) великої одиничної потужності, продуктивністю від 700 до 1400 тис. м³ на рік [18-25]. Загальна продуктивність ЕАК багато в чому визначається часом завантаження кар'єрних самоскидів і характеристиками їх руху. Крім того, кількість і типорозміри кар'єрних самоскидів і екскаваторів - два найважливіших чинника у визначенні раціональних параметрів відкритих гірських робіт (ВГР). Якщо кількість працюючих одночасно кар'єрних самоскидів і екскаваторів в ЕАК не збалансована, це може привести до їх простоїв і зниження їх продуктивності. Якщо кар'єрних самоскидів більше, ніж потрібно, то вони будуть простоювати у екскаваторів в очікуванні навантаження; якщо менше - будуть простоювати екскаватори в очікуванні роботи. У той же час, навіть якщо кількість кар'єрних екскаваторів і самоскидів в ЕАК збалансована, простої можуть виникати, якщо самоскиди розподіляються між екскаваторами нераціонально, або якщо з конкретними екскаваторами працюють самоскиди різних типорозмірів. Це призводить до суттєвих втрат робочого часу машин, зниження їх продуктивності, невиконання змінного виробітку та, як підсумок, до зниження загальної експлуатаційної продуктивності ЕАК. Разом з тим, навіть невелике збільшення продуктивності ЕАК дозволить заощадити значні кошти за рахунок скорочення капітальних вкладень для придбання і заміни техніки. Отже, від того, наскільки раціонально здійснюється розподіл кар'єрних самоскидів по пунктах навантаження, відповідним маршрутам і пунктам розвантаження, в значній мірі залежить ефективність функціонування ЕАК і гірських робіт в цілому. Відомо, що витрати на транспорт складають на більшості кар'єрів до 50% від загальних витрат. Щоб знизити транспортні витрати, пропонуються різні заходи: підвищення продуктивності і надійності функціональних машин, що становлять ЕАК; дотримання раціонального співвідношення міст-

кості кузовів кар'єрних самоскидів і ковшів екскаваторів; використання циклічно-поточної технології; застосування тролейовозів для скорочення робочих циклів.

Гостро стоїть завдання оптимізації технологічних процесів і на гірничорудних підприємствах Кривбасу, що є важливим стратегічним напрямком їх розвитку в існуючих економічних умовах. Під оптимізацією розуміється процес вибору за прийнятим критерієм найкращого варіанту з усіх можливих, при якому гарантується досягнення найвищого позитивного ефекту. Для всього екскаваторно-автомобільного комплексу такий результат досягається максимальною продуктивністю при мінімальних витратах. Продуктивність за зміну кожного конкретного забійного екскаватора і кар'єрного автосамоскида визначається величиною коефіцієнта використання робочого часу екскаватора і автосамоскида. У екскаваторно-автомобільному комплексі коефіцієнт використання робочого часу екскаватора прямо пропорційно залежить від кількості закріплених до нього автосамоскидів. А коефіцієнт використання робочого часу автосамоскидів залежить від простоїв у забійного екскаватора і від відстані перевезення гірничої маси. Таким чином, оптимізаційна задача зводиться до визначення оптимальної кількості автосамоскидів, що забезпечують найвищу продуктивність забійного екскаватора при різній величині відстані перевезення гірничої маси. Дослідження взаємозв'язку коефіцієнтів використання часу екскаватора і автосамоскидів проводилися на кар'єрах ПРАТ «ПівніЗК» з використанням аналітичної залежності (1)

$$K_{из} = \frac{K_{об}}{1 + K_{об}} n \cdot K_{иа}, \quad (1)$$

де $K_{об} = t_{зан} / t_{омс}$ - коефіцієнт оборотності автосамоскиду; n - кількість закріплених автосамоскидів за одним екскаватором; $K_{иа}$ - коефіцієнт використання часу автосамоскидів; $t_{зан}$ - час зайнятості екскаватора на навантаженні одного автосамоскида, визначається підсумовуванням тривалості маневрів автосамоскиду і тривалості навантаження (для автосамоскида БелАЗ-75131 тривалість маневрів дорівнює 1,1 хвилини, а тривалість навантаження екскаватора ЕКГ-8И дорівнює 4,95 хвилини); $t_{омс}$ - тривалість відсутності автосамоскида, визначається підсумовуванням часу руху навантаженого і порожнього автосамоскиду і тривалості його розвантаження, яка для автосамоскида БелАЗ-75131 дорівнює 2,2 хвилини.

Як очевидно, коефіцієнт оборотності автосамоскиду залежить від відстані перевезення гірничої маси і середньотехнічної швидкості автосамоскида БелАЗ-75131, яка для Аннівського кар'єра «ПівніЗК» дорівнює 15,9 км / год. Встановлено такі значення: при відстані перевезення 1 км - $K_{об} = 0,53$; при 1,4 км - $K_{об} = 0,45$; при 1,9 км - $K_{об} = 0,33$; при 2,5 км - $K_{об} = 0,27$; при 3,65 км - $K_{об} = 0,19$; при 4,5 км - $K_{об} = 0,15$. З використанням отриманих значень в подальших дослідженнях були отримані залежності коефіцієнта використання часу екскаватора і автосамоскидів від кількості закріплених за одним екскаватором автосамоскидів (рис.1 та 2).

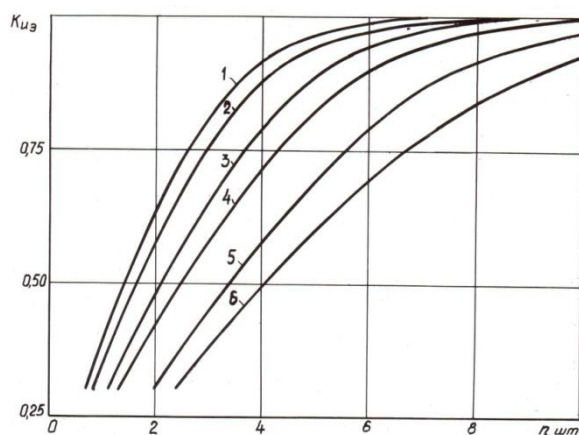


Рис. 1. Залежність коефіцієнта використання екскаватора $K_{из}$ від кількості обслуговуваних автосамоскидів n : 1 - $K_{об} = 0,53$; 2 - $K_{об} = 0,45$; 3 - $K_{об} = 0,33$; 4 - $K_{об} = 0,27$; 5 - $K_{об} = 0,19$; 6 - $K_{об} = 0,15$

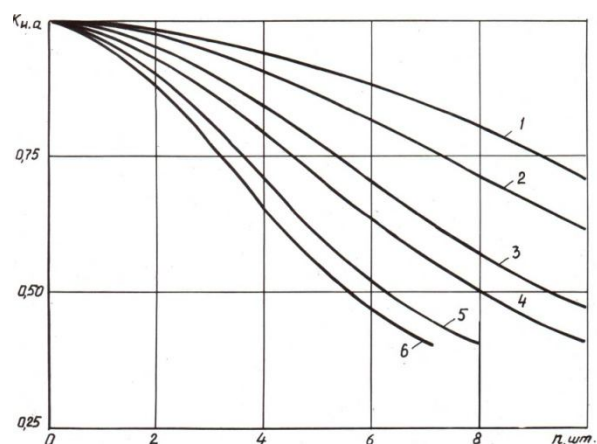


Рис. 2. Залежність коефіцієнта використання автосамоскидів $K_{иа}$ від їх кількості під екскаватором, що їх обслуговує: 1 - $K_{об} = 0,15$; 2 - $K_{об} = 0,19$; 3 - $K_{об} = 0,27$; 4 - $K_{об} = 0,33$; 5 - $K_{об} = 0,45$; 6 - $K_{об} = 0,53$

На підставі отриманих залежностей для умов ПРАТ «ПівніЗК» розроблена номограма для визначення раціональних значень $K_{уз}$ та $K_{иа}$ при заданій відстані перевезень гірської маси і кількості закріплених за екскаватором автосамоскидів (рис.3).

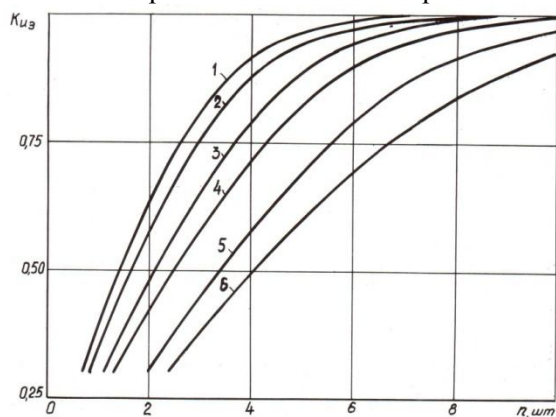


Рис. 3. Номограма для визначення $K_{об}$, $K_{уз}$, $K_{иа}$ при заданій величині l та кількості автосамоскидів n

Для кар'єрного екскаватора, який є більш коштовною гірничою машиною, повинна виконуватися умова $K_{уз} > K_{иа}$, яка забезпечує максимальну його продуктивність. При цьому оптимальну величину $K_{уз}$ і кількість необхідних автосамоскидів при заданій відстані перевезень гірської маси доцільно визначити по наведених витратах однієї машини-зміни екскаваторно-автомобільного комплексу на одну тону переробленої гірської маси (2):

$$z_{np} = \frac{C_{ac} + C_{эс} + E \cdot K}{W_{эс} \cdot K_{уз}}, \quad (2)$$

де C_{ac} - вартість машинозміни автосамоскида, грн; $C_{эс}$ - вартість машинозміни екскаватора, грн; $E = 0,15$ - нормативний коефіцієнт; K - капітальні витрати, віднесені на одну машинозмину, визначаються за формулою (3)

$$K = \frac{C_b \cdot n}{M_{см}}, \quad (3)$$

де C_b - балансова вартість автосамоскида, грн; n - кількість автосамоскидів, закріплених за екскаватором; $M_{см}$ - кількість змін роботи автосамоскидів за календарний період.

Нормативна змінна продуктивність екскаватора ЕКГ-8 ($W_{эс}$) на руді дорівнює 2273 м³ (7501 т).

Вартість машино-зміни автосамоскида визначається за формулою (4)

$$C_{ac} = W_{ac} \cdot l \cdot C_{ткм} \cdot K_{иа}, \quad (4)$$

де W_{ac} - змінна продуктивність автосамоскида, т; l - відстань перевезення гірничої маси, км; $C_{ткм}$ - собівартість 1 ткм, грн.

Висновки та напрямок подальших досліджень. В результаті виконаних досліджень характеристик екскаваторно-автомобільних комплексів отримані залежності оптимальної кількості закріплених автосамоскидів від відстані перевезення гірничої маси $n_{опт} = f(l)$ та, відповідно, оптимальної величини при цьому коефіцієнта використання часу екскаватора $K_{уз,опт} = f(l)$ (рис.4).

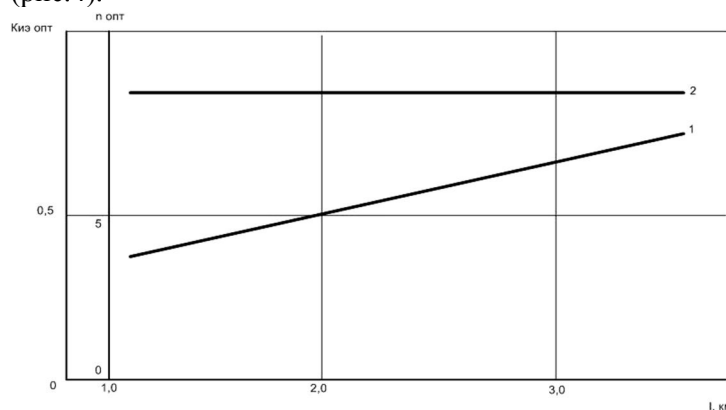


Рис. 4. Залежність оптимальної кількості автосамоскидів під екскаватором $n_{опт}$ та оптимального значення коефіцієнта його використання $K_{уз,опт}$ від відстані перевезення l : 1 - $n_{опт} = f(l)$; 2 - $K_{уз,опт} = f(l)$

Встановлено, що при оптимальній кількості закріплених автосамоскидів величина $K_{уз}$ становить 0,81-0,84. При цьому забезпечується максимальна продуктивність забійного екскаватора.

Список літератури

1. **Мариев, П.Л.** Карьерная техника ПО «БелАЗ»: Справочник / П.Л. Мариев, К.Ю. Анистратов. – М. : Горное дело, 2007. – 456 с

2. **Ганченко М. В.** Определение границ оптимизации технологических параметров открытых горных работ / Ганченко М. В., А. Н Акишев, В. А. Бахтин // Горный журнал. 2005. - №7. - С. 77 - 80.
3. **Лель Ю. И.** Методы расчета параметров устойчивой работы автотранспорта глубоких карьеров: дис. д-ра техн. наук / Ю. И. Лель; УГГГА. Екатеринбург, 1999. - 292 с.
4. **Зырянов И. В.** Повышение эффективности систем карьерного автотранспорта в экстремальных условиях эксплуатации: автореф. дис. . д-ра техн. наук / И. В. Зырянов; СПГИ(ТУ). СПб., 2006. - 40 с.
5. **Довженко А. С.** Повышение эффективности карьерного автомобильного транспорта совершенствованием параметров его подсистем сиспользованием энергетического критерия: автореф. дис. . канд. техн. наук / А. С. Довженко; СПГИ(ТУ). СПб, 1992. - 20 с.
6. **Стенин Ю. В.** Обоснование производительности технологического автомобильного транспорта железорудных карьеров: дис. канд. техн. наук / Ю. В. Стенин; ИГД МЧМ СССР. Свердловск, 1983. - 228 с.
7. **Терехин Е. Ю.** Исследование энергетической эффективности транспортных систем глубоких карьеров: дис. канд. техн. наук / Е. Ю. Терехин; УГГГА. Екатеринбург, 2001. - 206 с.
8. **Бахтурин Ю. А.** Вопросы адаптации генеза транспортных систем карьеров / Ю. А. Бахтурин // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр. Екатеринбург, 2004. - С. 378 - 388. - (Сб. науч. тр./ИГД УрО РАН. - Вып. 2(92).
9. **Тарасов П. И.** Пути экономии дизельного топлива на карьерном автотранспорте / П. И. Тарасов // Горный журнал. 2006. - № 2. - С. 72 -75.
10. **Егоров А. Н.** Силовые агрегаты карьерных автосамосвалов / А. Н. Егоров, В. Т. Войтов // Горный журнал. 2004. - Специальный выпуск к № 8. - С. 75 - 77.
11. **Кулешов А. А.** Экологические проблемы эксплуатации дизельной техники на карьерах и пути их решения / А. А. Кулешов // Горный журнал. 1994. -№1,- С. 35-40.
12. **Горшков Э. В.** Обоснование рациональных параметров технологического автотранспорта при повышенных уклонах карьерных автодорог: дис. канд. техн. наук / Э. П. Горшков; ИГД МЧМ СССР. -Свердловск, 1984. 178 с.
13. **Егоров А.Н.** Карьерные самосвалы БелАЗ с гидромеханической трансмиссией, Горная промышленность, - 2002. - №6 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.miningmedia.ru/ru/article/transport/1633-karenyye-samosvaly-belaz-s-gidromekhanicheskoy-transmissiej>
14. **Потапов М.Г.** Направления развития карьерного транспорта, Горная промышленность,- 2002. - №6[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mining-media.ru/ru/article/transport/1644-napravleniya-razvitiya-karemnogo-transporta>.
15. **I. N. Varakin.** Application of ultracapacitors as traction energy sources / I. N. Varakin et al // Thesis of 7th International Seminar on Double Lauer Capacitors and Similar Energy Storage Devices, December 8-10, 1997. Florida: Deerfield Beach, 1997.-P. 87-91.
16. **Спиваковский А. О.** Транспортные машины и комплексы открытых горных работ / А. О. Спиваковский, М. Г. Потапов. М.: Недра, 2003. -383 с.
17. **Wayne K. Schroeder.** Energy regeneration for surface-mine haulage trucks / K. Schrotder Wayne // Mining Magazine. 1993. - Vol. 148. - №6. - P. 456 -463.
18. **Монастырский Ю. А.** Оптимизация параметров экскаваторно-автомобильных комплексов для стесненных условий глубоких карьеров / Ю. А. Монастырский, А. В. Веснин, В. А. Систук // Проблемы и пути эффективной отработки алмазоносных месторождений: междунар. науч.- практ. конф., 11-15 апр. 2011 г.: сб. тезисов докл. – Мирный, 2011. – С. 56
19. **Монастырский Ю.А.** Анализ опыта работы карьерных автосамосвалов на железорудных карьерах ПАО «Центральный горно-обогатительный комбинат» / Ю.А. Монастырский, Т.А. Климов, О.Л. Шитов // Проблемы розвитку транспортних систем і логістики: матер. VI міжнар. наук.-практ. конф., Северодонецьк – Кременчук, 4-7 травня 2015 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – Северодонецьк: ЧНУ ім. В. Даля, 2015. – С. 111-112.
20. **Монастырский Ю.А.** Современное состояние технологического автотранспорта железорудных карьеров / Ю.А. Монастырский, А.С. Вивчарык, И.В. Бондарь, Т.А. Климов // Новітні шляхи створення, технічної експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів: всеукраїнської наук.-практ. конф., 8-11 вер. 2015 р.: збірник тез доповідей. – Одеса, 2015. – С. 165-166.
21. **Захаров А.Ю.** Влияние некоторых факторов на производительность карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов / А.Ю. Захаров, А.Ю. Воронов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – №1. – С. 74-76.
22. **Bastos G.S.** Methods for truck dispatching systems for open pit mines // Ph.D. Thesis, Aeronautics Institute of Technology, Brazil. – 2010.
23. **Bastos G.S.** A single-dependent agent approach for stochastic timedependent truck dispatching in open-pit mining / G.S. Bastos, L.E. Souza, F.T. Ramos, C.H. Ribeiro // 14th Int. IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. – Washington DC, USA, 5-7 Oct 2011. – P. 1057-1062.
24. **Kuo Y.** Highway earthwork and pavement production rates for construction time estimation // Ph.D. Thesis, University of Texas, USA. – 2004.
25. **Brown C.** Autonomous vehicle technology in mining // Engineering and Mining Journal – January 2012 – P. 30-32.

Рукопис подано до редакції 17.04.2018

УДК 004.93

Н. Н. ШАПОВАЛОВА, І. О. ДОЦЕНКО, старші викладачі, В. О. ЩЕРБИНА, студент
Криворізький національний університет

ІДЕНТИФІКАЦІЯ КОРИСТУВАЧА СИСТЕМИ ЗА ВІДБИТКАМИ ПАЛЬЦІВ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Мета. Створення біометричної системи контролю доступу з використанням відбитків пальців, оптимізація пошуку еталонних образів відбитків за рахунок використання алгоритмів штучного інтелекту, мінімізація проценту таких біометричних ймовірнісних показників, як хибний доступ до системи і хибна відмова. Впровадження системи у технологію дистанційного банківського обслуговування за типом ATM-banking і платіжних терміналів.

Методи дослідження. Загальнонаукові методи теоретичного дослідження: аналіз визначених типів відбитків пальців людини за їх основними класами, синтез отриманих даних у формі зображення і перетворення їх у векторну модель, формалізація методів отримання контрольних точок відбитку пальця, моделювання процесу класифікації образів отриманих даних за певними типами відбитків, узагальнення; методи емпіричного дослідження: вивчення досвіду в області поставленого завдання, тестування отриманої моделі; методи об'єктно-орієнтованого проектування та програмування.

Наукова новизна. Проведено класифікацію відбитків пальців людини на основі методу штучного інтелекту – градієнтного бустінгу – спрямованої побудови композиції дерев рішень.

Практична значимість виконаної роботи полягає в значному прискоренні процесу ідентифікації відбитків пальців клієнта в дистанційній системі банківського обслуговування за рахунок того, що пошук еталонного зразка відбитку пальця виконується не в усій наявній базі, а в підмножині еталонів, які належать до одного з п'яти відомих типів відбитків пальців людини. При цьому точність ідентифікації і надійність системи зберігається.

Результати. Розроблено алгоритм класифікації відбитків пальців за основними їх типами (дуга, ліва петля, права петля, півсфера, завиток тощо) на основі методу машинного навчання – градієнтного бустінгу для прискорення подальшого процесу ідентифікації відбитків пальців клієнта за методом контрольних точок у системі дистанційного банківського обслуговування.

Ключові слова: біометрія, відбитки пальців, метод контрольних точок, класифікація відбитків пальців, машинне навчання, градієнтний бустінг, дистанційне банківське обслуговування

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-81-84

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. На сьогоднішній день біометрія отримала найбільш широке поширення серед комплексу технік і знарядь захисту даних. Біометрична верифікація є засобом, за допомогою якого людину можна ідентифікувати завдяки одній або декількох відмінних біологічних ознак. До унікальних біометричних ідентифікаторів можна віднести: відбитки пальців, геометрію рук, геометрію мочки вуха, структуру сітківки та діафрагму ока, голосові хвилі, ДНК та підписи [1].

Біометричні технології забезпечують виконання вимог підвищення ефективності фінансової системи і безпеки. Найбільш очевидна область використання біометрії – це оперативна і надійна ідентифікація клієнта на різних етапах і в різних сценаріях фінансових взаємодій. Друга область – забезпечення безпеки при роботі з персональною інформацією і фінансовими даними в системах платежів і переказів, кредитування, банкінгу тощо.

Незважаючи на те, яка саме біометрична методологія використовується, процес підтвердження ідентифікації залишається незмінним. Унікальна характеристика людини, яка отримана від пристрою та в подальшому пропущена через алгоритми, записується та зберігається у базі даних. Коли виникає потреба здійснити перевірку ідентифікації, з пристрою фіксується запис, який порівнюється з попереднім в базі даних. Якщо дані нового запису мають відповідність з вже існуючим записом в базі даних, ідентичність особи підтверджується.

Аналіз досліджень і публікацій. В даний час виділяють три класи алгоритмів порівняння відбитків пальців: кореляційне порівняння, порівняння за контрольними точкам, порівняння по візерунку [2].

Ідея кореляційного порівняння полягає у тому, що зображення одного відбитка у різних положеннях накладаються один на інший і обчислюється коефіцієнт кореляції між відповідними пікселями. В процесі виявлення відмінностей потрібно враховувати, що одна людина може кожен раз прикладати палець під різним кутом і в різні місця сканера. Це означає, що порівняння відбитка пальця із зразками повинно складатися з великої кількості ітерацій, на кожній з яких здійснюється зміщення або поворот отриманого зі сканера зображення. Перевагою методу

є низькі вимоги до якості зображення. Недолік полягає в великій тривалості процедури порівняння еталона з отриманим папілярним візерунком, що занадто обмежує сферу застосування даного методу. У зв'язку зі складністю і тривалістю роботи алгоритму, метод кореляційного порівняння останнім часом майже не застосовуються.

Для ідентифікації за методом контрольних точок на отриманих зі сканера зображеннях відбитків пальців, виокремлюють особливі точки (точки розгалуження і кінцеві точки), які порівнюються з контрольними точками відбитку-шаблону. За кількістю збігів точок приймається рішення про ідентифікацію. Перевагою методу можна назвати швидкість роботи, недоліком є високі вимоги до якості зображення [3].

При використанні методу порівняння візерунку враховуються особливості будови папілярного візерунка на поверхні пальців. Спочатку зображення відбитка пальця розбивається на велику кількість дрібних осередків (рис. 1).



Рис. 1 Розбиття папілярного візерунка на осередки

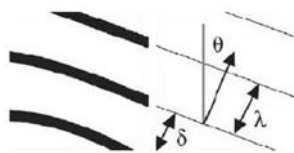


Рис. 2 Хвильове представлення папілярних ліній в осередку

Розташування ліній в кожному з осередків описується параметрами певної синусоїдальної хвилі. Іншими словами, задається початковий зсув фази δ , довжина хвилі λ , а також напрямок поширення хвилі θ (рис. 2).

Перевагою цього методу є невисокі вимоги до якості зображення, а також відносно висока швидкість роботи. Однак через складність, трудомісткості і високих вимог до математичної бази, даний метод не використовується широко [4, 5].

Постановка завдання. Існує необхідність розробити банківську систему доступу до даних, які надаються завдяки ідентифікації користувача за допомогою відбитку пальців. Задача ідентифікації відбитку пальців полягає у максимізації міри схожості зображення, отриманого зі сканера, з еталонним відбитком за ключовим точкам зображення. Ключові точки, мінуції – це унікальні для кожного відбитку ознаки, що визначають пункти зміни структури папілярних ліній (закінчення, роздвоєння, розрив тощо), орієнтацію папілярних ліній і координати в цих пунктах. Кожен відбиток може містити до 70 і більше мінуцій [6].

На вході системи маємо множину відбитків пальців $A = \{a_1, \dots, a_r\}$. Шляхом їх перетворення отримаємо множину векторів еталонних відбитків $O = \{o_1, \dots, o_n\}$ з n оригінальних образів відбитків, які складаються з набору ключових m точок для кожного відбитку $o_i = \{kT_{i1}, \dots, kT_{im}\}$. Тут кожний образ відбитку пальця визначається вектором kT_{ij} – набором ключових точок для кожного відбитку. В свою чергу ключова точка складається з координат на площині і кута орієнтації мінуцій $kT_{ij} = \{x_{ij}, y_{ij}, \theta_{ij}\}$. Для кожного відбитка генерується свій образ, який представляє еталонний шаблон, що буде використовуватися для порівняння відбитків пальців [7].

Потрібно зіставити еталонний образ з образом поточного відбитка для його ідентифікації. При цьому знаходиться еталонний образ, який краще за всі збігається з поточним, і саме він ідентифікує людину в системі [8]. У такій постановці постає задача оптимізації за критерієм мінімальної відстані між еталоном і поточним образом відбитка. Процес вирішення цього завдання включає наступні етапи: визначення ознак відбитків пальця (мінуцій); створення і збереження еталонних відбитків; порівняння еталонного відбитка і поточного відбитка пальця користувача; прийняття рішення по ідентифікацію користувача системи.

Викладення матеріалу та результати. Оскільки задача ідентифікації на відміну від задачі верифікації набагато складніша, по причині того, що необхідно з великої кількості образів відбитків знайти єдиний вірний образ, є сенс звужувати область пошуку, виокремлюючи серед всієї бази образів класи відомих типів відбитків (рис. 3). Класифікація відбитка пальця може бути розглянута як груба відповідність відбитків пальця. Введений відбиток пальця спочатку може бути віднесений на грубому рівні до одного із зазначених типів і потім, на наступному етапі, пошук зводиться до порівняння з підмножиною в базі даних, що відповідає цьому типу відбитка пальця. Існує п'ять класів відбитків: завиток, права петля, ліва петля, дуга і півсфера [9].

Задачу класифікації пропонується вирішити за допомогою методу машинного навчання – градієнтного бустінгу. Процес навчання моделі виконується лише один раз на етапі запуску

системи у використанні, тому застосування методів штучного інтелекту не впливатиме на швидкість опрацювання даних.

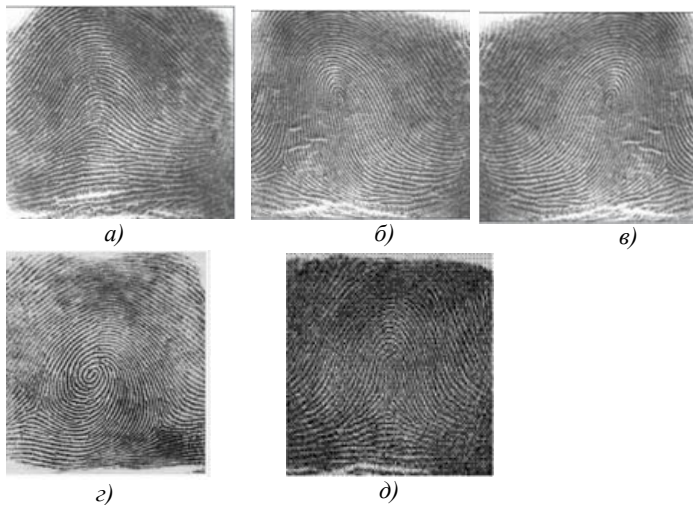


Рис. 3. Основні класи відбитків пальців: *a* – дуга, *б* – права петля, *в* – ліва петля, *з* – завиток і *д* – півсфера

На сьогоднішній день метод градієнтного бустінгу є одним з кращих способів спрямованої побудови композиції [10]. Бустінг – це спосіб побудови композицій з дерев рішень, в рамках якого базові алгоритми будуються послідовно, один за одним і кожен наступний алгоритм будується таким чином, щоб виправляти помилки вже побудованої композиції (1)

$$a_N(x) = \sum_{n=1}^N b_n(x), \quad (1)$$

де $b_n(x)$ – базові алгоритми (дерева рішень) на просторі ознак x .

Існує функція втрат $L(y, z)$, де y – істинна відповідь для кожного об'єкта з вибірки x , z – прогноз алгоритму для того ж об'єкта. У задачах класифікації використовується логістична функція втрат (2)

$$L(y, z) = \log(1 + \exp(-y \cdot z)). \quad (2)$$

Перший базовий алгоритм композиції будується за формулою (3)

$$b_0(x) = \arg \max_{y \in Y} \sum_{i=1}^l [y_i = y]. \quad (3)$$

Він повертає мітку найпоширенішого класу з вибірки.

Навчання алгоритму, що додається до композиції на кожному наступному кроці зводиться до задачі навчання за прецедентами (4)

$$b_N(x) = \arg \min_b \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l (b(x_i) - s_i)^2, \quad (4)$$

де $\{(x_i, s_i)\}_{i=1}^l$ – вибірка, на якій виконується навчання, вектор s – вектор здвигов (5).

$$s = -\nabla F = \begin{pmatrix} -L'_z(y_1, a_{N-1}(x_1)) \\ \dots \\ -L'_z(y_l, a_{N-1}(x_l)) \end{pmatrix}, \quad (5)$$

який має мінімізувати функцію втрат (2) для кожного наступного алгоритму.

Для вирішення поставленого завдання було побудовано композицію з 63 дерев глибиною 3. Ці параметри були підібрані емпірично, виходячи з міркувань розумного співвідношення витрат часу на навчання моделі і прийнятної величини якості класифікатора (рис. 4).

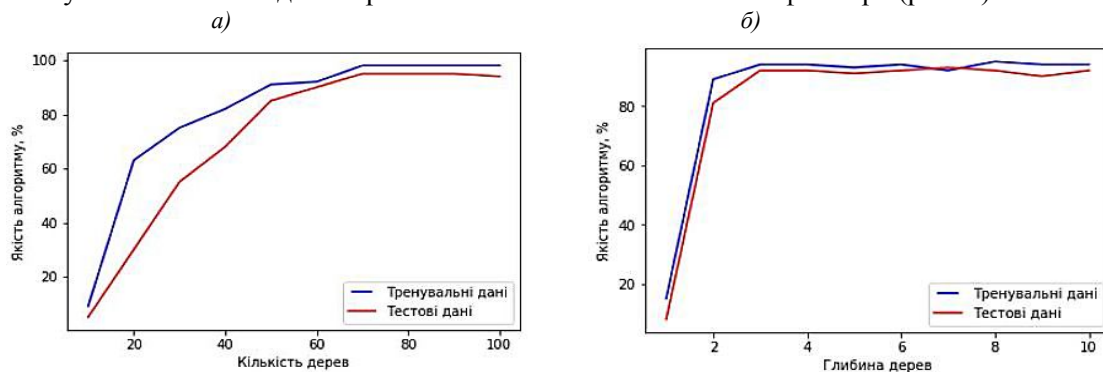


Рис. 4 Графіки залежності якості алгоритму від: *a* – кількості дерев; *б* – глибини дерев

Прийнята в роботу модель дає якість класифікації у розмірі 93,57%, і дозволяє прискорити процес знаходження образу відбитку пальця у вже структурованій за класами множині даних. Алгоритм тестовано на даних з відкритого джерела, дата-сет складається з 1679 зображень відбитків пальців.

Висновки та напрямки подальших досліджень. На сьогоднішній день, коли весь світ поступово переходить на комп'ютеризований рівень у всіх областях, які нас оточують, зберігання цінної інформації за допомогою ПІН-коду або фізичних замків є надто небезпечним методом захисту інформації. Використання біометричної верифікації, як засіб захисту інформації та надання її доступу справжньому власнику являється новим етапом зберігання наших даних. На даний момент, завдяки швидкому розвитку біометричної ідентифікації, існує величезна низка різноманітних методів біометричної верифікації, тому кожен користувач може обрати міру захисту, яка для нього є більш зручнішою та безпечнішою.

Можна зазначити, яким би великим темпом не розвивалися технології, все одно в центрі всього стоїть людина. З кожним роком, відкриваються нові подробиці людського тіла, які ідентифікують нас як унікальну особистість, якій немає рівних серед усіх інших. Біометрична верифікація це ще одне підтвердження того, що кожен із нас є єдиним універсальним ключем власної інформації, підробити який неможливо.

В ході подальших досліджень отримані висновки планується перевірити на інших методологіях біометричної ідентифікації.

Список літератури

1. Biometric identification systems [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.technovelgy.com/ct/Technology-Article.asp?ArtNum=12>.
2. **Moren D.** Surprising Biometric Identification Methods [Електронний ресурс] / Dan Moren. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.popsci.com/seven-surprising-biometric-identification-methods>.
3. **Фам З. Т.** Некоторые вопросы применения методов сравнения отпечатков пальцев для биометрических систем идентификации личности [Електронний ресурс] – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-voprosy-primeneniya-metodovsravneniya-otpechatkov-paltsev-dlya-biometricheskih-sistem-identifikatsiiichnosti>.
4. **Дуда З., Харт П.** Распознавание образов и анализ сцен. – М.: Мир, 1976. 5. Патрик Э. Основы теории распознавания образов. – М.: Советское радио, 1980.
5. Анализ методов распознавания отпечатков пальца [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: http://www.nbuv.gov.ua/old_jrn/natural/SOI/2010_6/Rykanov.pdf (дата обращения 20.12.2016).
6. Дактилоскопія [Електронний ресурс] // Вікіпедія – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D1%96%D1%8F>.
7. Biometrics: authentication and identification [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.gemalto.com/govt/inspired/biometrics>.
8. **Stroup J.** Biometric Identification and Identity Theft [Електронний ресурс] / Jake Stroup. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.thebalance.com/biometric-identification-and-identity-theft-1947595>.
9. **Nguyen H.** How Fingerprint Sensors Work [Електронний ресурс] / Hubert Nguyen. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ubergizmo.com/articles/fingerprint-scanners-how-they-work/>.
10. **Ясницький Л. Н.** Введения в штучний інтелект. – видання 1-е. – Издательский центр «Академия», 2005. – 176 с.

Рукопис подано до редакції 10.04.2018

УДК 622.232.72:622.271.33

О.О. ВУСИК, аспірант, А.М. ПИЖИК, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ПЕРЕДУМОВИ ТА РЕАЛІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ГІРНИЧИХ КОМБАЙНІВ ФРЕЗЕРНОГО ТИПУ НА ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРАХ

Мета. Проаналізувати технологію розробки гірських порід кар'єрними фрезерними комбайнами при відкритій розробці корисних копалин, як протипагу діючій технології відпрацювання залізрудних крутоспадних покладів із застосуванням буро-підривної підготовки порід до виїмання. Дослідити ефективність застосування гірничих фрезерних комбайнів із забезпеченням мінімальних кількісних та якісних втрат корисних копалин.

Методи дослідження. Досягнення поставленої мети реалізується методами комплексного аналізу проблем та умов сучасної технології розробки залізрудних покладів та їх вирішення шляхом застосування кар'єрних комбайнів фрезерного типу. Аналіз узгодженості ефективної роботи комбайнів фрезерного типу з діючою технологією розробки гірських порід, що в цілому дозволяє зробити припущення щодо підвищення техніко-економічних показників роботи залізрудних кар'єрів.

Наукова новизна. Застосування комбайнів фрезерного типу дозволяє відпрацьовувати породний масив в складних та обмежених умовах через значну глибину ведення розробки без проведення комплексу буро-підривних робіт, що дозволяє покращити екологічну ситуацію гірничодобувного підприємства, а також об'єднати подрібнення породи, її виїмку та навантаження в один технологічний процес.

Практична значимість. Отримані висновки дають змогу стверджувати про ефективність застосування гірничих комбайнів фрезерного типу на залізрудних кар'єрах, що обумовлено їх складними гірничо-геологічними та гірничотехнічними умовами. Практична реалізація технології пошарового фрезерування породного масиву кар'єрними фрезерними комбайнами дозволить скоротити ланцюг технологічних процесів гірничого виробництва та зменшити вартість видобувних та розкривних робіт.

Результати. Встановлено, що технологія розробки гірських порід з використанням комбайнів фрезерного типу у повній мірі прийнятна для впровадження до сучасного стану робіт у залізрудних кар'єрах. Виходячи з цього, подальші дослідження будуть направлені на обґрунтування та встановлення раціональних параметрів елементів системи розробки крутоспадних залізрудних покладів та їх залежність від робочих та технологічних параметрів фрезерних комбайнів.

Ключові слова: залізрудний кар'єр, розробка, породний масив, фрезерування, гірничий комбайн

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-84-90

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В умовах складної конкурентної позиції України на світовому ринку мінеральної сировини особливої актуальності набуває проблема підвищення конкурентоспроможності вітчизняних гірничих підприємств. Розв'язання її є можливим шляхом зниження собівартості продукції та підвищення прибутковості підприємств за рахунок удосконалення технології відкритої розробки родовищ корисних копалин шляхом застосування комбайнів фрезерного типу, що одночасно зменшить вартість відпрацювання рудного покладу й підвищить ефективність роботи гірничодобувного підприємства. Назріла невідкладна задача встановлення найбільш раціональної і прогресивної технології їх розробки в конкретних умовах кожного басейна. Вирішення цієї задачі на базі новітньої механізації і організації всіх технологічних процесів розробки дозволить отримати вищу продуктивність праці, мінімальну вартість виїмання розкриву і видобутку руди, суттєво скорочені капітальні та експлуатаційні витрати в гірничодобувній промисловості.

Відкрита розробка родовищ корисних копалин Кривбасу характеризується широким застосуванням буро-вибухових робіт. Крім позитивного ефекту, тобто дроблення скельних порід із заданою якістю, підривні роботи мають і низку негативних проявів, таких як викид у атмосферу пилу й шкідливих газів, утворення сейсмічних і ударних повітряних хвиль, розліт уламків подрібненої породи. Але сейсмічно-вибухові хвилі є одним з найбільш небезпечних проявів масових промислових вибухів, так як вони поширюються на значні відстані й можуть призвести до пошкоджень будівельних конструкцій житлових будинків і промислових споруд.

Знеміцнення гірського масиву при використанні вибуху має низку недоліків, а саме:

змішування корисної копалини з породами розкриву, що веде до зниження якості отриманої сировини;

необхідність тимчасової зупинки робіт і відведення техніки і людей на безпечну відстань перед проведенням вибуху;

нерівномірний гранулометричний вихід відбитої підривом гірської маси – від негабаритів до пиловидних частинок;

неможливість використання конвеєрного транспорту для переміщення отриманої гірської маси без попереднього крупного подрібнення;

викид продуктів горіння вибухових речовин погіршує екологічну ситуацію в місці проведення робіт;

порушення цілісності масиву гірських порід, що негативно впливає на стійкість борта кар'єра [1,2].

Буро-вибухові роботи сьогодення займають одне з домінуючих місць по витратам на гірничі роботи. Власне від якості проведення буро-вибухових робіт в значній мірі залежить ефективність використання виймально-навантажувального обладнання і засобів транспорту. Таким чином, удосконалення методів ведення буро-вибухових робіт, а саме покращення та стабілізації

вимог до підготовки породного масиву по виймання, їх якості являється однією із основних проблем на гірничодобувних підприємствах. Аспекти цієї проблеми показують, що немає жодного із методів ведення буро-вибухових робіт, котрі в повній мірі задовольняють всі вимоги покращення технології ведення відкритої розробки в проблематичних сьгоднішніх гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах роботи кар'єру.

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз теоретичних досліджень показує отримання інтенсивного і рівномірного подрібнення в результаті пошарового фрезерування породного масиву кар'єрними комбайнами. Разом з тим, досвід практичного застосування технологій підготовки гірських порід до виймання потребує не тільки ретельного аналізу результатів, але й урахування постійно змінних умов розробки порід на глибинних горизонтах залізорудних кар'єрів. При цьому необхідно вирішувати задачі зниження енергоємності процесів бурових робіт та виключення небезпечних можливостей підривання зарядів ВР. Реалізація таких задач може бути здійснена на основі нових наукових результатів в області механіки вибухового руйнування гірських порід.

В своїх роботах [3,4] В.В. Ржевський сформулював основні оптимальні вимоги роботи до комплексів гірничого обладнання глибоких кар'єрів. Виділено два основних напрямки вирішення проблеми розробки кар'єрів на значній глибині: запобігання негативним наслідкам зростання глибини кар'єрів та компенсація таких наслідків за рахунок застосування нових технологій і сучасної ефективної техніки.

Практика ведення відкритих гірничих робіт з традиційною відбійкою порід вибухом, свідчить про не виконання мети збереження оконтуреного масиву. Що пояснюється високою вартістю та складністю реалізації комплексу буро-підричних робіт. Також із досягненням значної глибини залізорудних кар'єрів, що має тенденцію збільшуватись, впливає на зменшення ширини робочих площадок і тому обмежує область застосування масового вибуху [5]. Тому розширюється область застосування сучасного високопродуктивного обладнання для механічного знеміцнення породного масиву. Цей спосіб особливо притаманний країнам Західної Європи, де наявні максимально строгі вимоги щодо виконання буро-підричних робіт [6].

Основною причиною знеміцнення формуючих уступів являється сейсмopідричний вплив відбійних свердловинних зарядів, приводячи як до утворення нових тріщин (в межах зони подрібнення), так і до розкриття вже існуючих тріщин. В результаті чого несуча спроможність породного масиву суттєво знижується, оскільки порушуються зв'язки між породними блоками, характерні для умов їх природного залягання [7]. Такий негативний момент відсутній при відпрацюванні породного масиву комбайном фрезерного типу, адже при його роботі не виникає сейсмopідричної дії будь-якої сейсмічна дія відсутня на масив, уступ та укіс уступу отримують чітко виражену відфрезеровану поверхню (рис. 1).



Рис. 1. Укіс уступу після відпрацювання кар'єрним комбайном фрезерного типу

Одним із обмежуючих факторів впливу на генеральні кути ухилу бортів кар'єрів являється значення міцнісних властивостей порід даних бортів. На сьгоднішній час визначення міцнісних властивостей порід проводиться спеціальними дослідженнями направленними на визначення межі міцності зразків порід з подальшим розрахунком кута внутрішнього тертя і зчеплення для кожної із виділеної групи порід. Слід відзначити, що проведення подібного роду дослідження достатньо дороге та ускладнене відсутністю необхідного обладнання [8].

Викиди забруднюючих речовин під час проведення масових вибухів у кар'єрах є залповими, тобто за короткий час у повітря викидається значна кількість забруднювачів. При цьому виникає небезпека перевищення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин на межі санітарно-

захисної зони та на межі житлової забудови. Непоодинокі скарги жителів прилеглих до кар'єрів житлових масивів на забруднення повітря масовими вибухами підтверджують наявність проблеми та необхідність її вирішення [9]. Використання технології розробки гірських порід із застосуванням фрезерних комбайнів не потребує проведення масових вибухів, що підвищує цікавість до даного напрямку дослідження статті.

Аналіз закордонної практики показує, що на час сьогодення механічний спосіб підготовки породного масиву до виймання являється в пріоритеті тому, що забезпечує більш безпечні умови праці і кращі техніко-економічні показники у порівнянні з традиційним буро-підричним способом. Останній досягнув такого рівня розвитку, коли досягнення кардинального покращення його техніко-економічних показників неможливо. Покращення техніко-економічних показників на діючих кар'єрах відбувається за рахунок модернізації застарілого мало ефективного і впровадження нового сучасного високопродуктивного обладнання (рис. 2). Саме кар'єрні комбайни фрезерного типу характеризуються відсутністю необхідності проводити бурові та підривні роботи, можливістю виконувати виймально-навантажувальні роботи та відсутністю необхідності виконувати крупне подрібнення, адже відпрацьована ним порода має розмір шматка <150 мм.

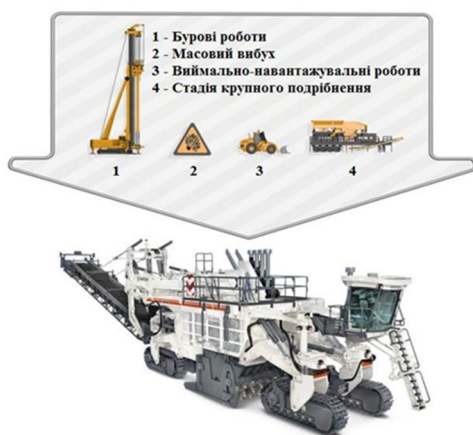


Рис. 2. Комплекс робіт, котрі можна замінити застосуванням комбайна фрезерного типу

На закордонних кар'єрах комбайни фрезерного типу застосовуються не лише для видобутку руди, але і для виїмки порід розкриву, що в свою чергу зменшує вартість ведення відкритої розробки. В деяких випадках вартість проведення розкривних робіт може складати до 90% загальної вартості видобутку 1 т руди. Тому напрямок дослідження області застосування сучасного та високопродуктивного виймально-навантажувального обладнання для виконання добувних і розкривних робіт, являється пріоритетним для вітчизняних гірничодобувних підприємств.

Постановка задачі. Для виконання розвитку виймально-навантажувальних робіт, підвищення продуктивності праці і зниження собівартості виїмки порід та видобутку руди, разом з удосконаленням роботи окремих ланок потребуються корені зміни всього технологічного процесу видобутку міцних залізородних покладів. Ці зміни повинні характеризуватися використанням сучасних виймально-навантажувальних машин шляхом застосування потужних кар'єрних комбайнів фрезерного типу.

За останні роки закордонні кар'єри оснащені більш сучасним гірничотранспортним обладнанням, освоєння котрого відіграє велику роль в удосконаленні способів розкриття і систем розробки залізородних покладів. Аналіз світової тенденції в області розробки породного масиву свідчить, що підвищення рівня безпечності і ефективності на відмінно від буро-підричних підготовки порід в значній мірі обумовлено застосуванням безвибухової технології розробки гірських порід сучасним виймально-навантажувальним обладнанням.

Тому метою статті є проаналізувати технологію розробки гірських порід кар'єрними фрезерними комбайнами при відкритій розробці корисних копалин, як протипагу діючій технології відпрацювання залізородних крутоспадних покладів із застосуванням буро-підривної підготовки порід до виймання. Дослідити ефективність застосування гірничих фрезерних комбайнів із забезпеченням мінімальних кількісних та якісних втрат корисних копалин.

Викладання матеріалу та результатів. Технічне переоснащення кар'єрів, виконане за останні роки, спричинило неухильному підвищенню техніко-економічної ефективності відкритих гірничих робіт. Однак оцінка їх сучасного стану свідчить про те, що разом з значними досягненнями передових кар'єрів наявні недоліки техніко-економічного та організаційного характеру, котрі суттєво знижують ефективність відкритої розробки гірських порід і стримують їх подальший розвиток.

Технології безвибухової виїмки щільних та напівскельних порід із застосуванням нових і удосконалених гірничих машин циклічної та безперервної дії знаходять все більше застосування. На розробці родовищ твердих корисних копалин і в будівництві для механічного знеміц-

нення гірських порід застосовуються бульдозерно-розпушувальні агрегати, одноковшеві екскаватори зі спеціальним робочим обладнанням, кар'єрні комбайни, фрезерні машини та інша техніка [10-15].

Основними напрямками удосконалення виймально-навантажувальних робіт являється: покращення використання існуючого парку машин, механізація допоміжних процесів виймально-навантажувальних робіт та зменшення простоїв гірничо-транспортного обладнання.

Видобуток вапняку без буро-підривних робіт виконується в кар'єрі ЗАО «Кавказцемент» (Росія) гірничими комбайнами з 2005 року (рис. 3). Межа міцності породи варіюється від 35 до 70 МПа, при чому робота гірничих комбайнів являється високопродуктивною з низькими експлуатаційними витратами та отриманням розміру подрібненого шматка в заданому діапазоні.



Рис. 3. Видобуток вапняку в кар'єрі ЗАО «Кавказцемент» (Росія) з прямим навантаженням в автосамоскид (по матеріалам Wirtgen Group)

Кар'єрні комбайни фрезерного типу відрізняються суттєвими техніко-економічними перевагами у порівнянні з відомими типами екскаваторів. Головними із яких являється менша вага в 2-5 разів, більш удосконалена конструкція, можливість реалізації зусилля різання та змінювати величину зусилля в залежності від показників знеміцнення породи, можливість точного нівелювання

траєкторії руху машини в умовах обмеженого простору, можливість регулювання виходу фракції подрібнення гірської маси.

З 2011 року фрезерними комбайнами Wirtgen 2500 SM відпрацьовується родовище Mineração Paragominas в Бразилії, котрі показують високі показники своєї роботи. В даному випадку ширина смуги фрезерування 2500 мм з глибиною шару порід 650 мм, кожна машина має змогу видобувати до 7500000 т бокситів з межею міцності на одноосьове стиснення до 50 МПа. Навантаження відпрацьованої породи відбувається прямо в автосамоскид розвантажувальним конвеєром комбайна. Технологія видобутку характеризується відсутністю буро-підривних робіт, відсутністю застосування додаткового виймально-навантажувального обладнання, зниженням вартості добувних робіт та відсутністю шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Кар'єрні комбайни фрезерного типу з 2012 року економічно доцільно виконують видобуток покладів фосфатів на півночі Саудівської Аравії з межею міцності на одноосьове стиснення 25 МПа, а також видобувають оточуючий вапняк (80 МПа) та окремі ділянки каміння із значною міцністю (до 150 МПа). В цих умовах розробки вихід фракції шматка досягав максимального значення 80 мм.

Фрезерні комбайни ефективно застосовуються для видобутку вугілля в Китаю, США, Індії та інших країнах. При цьому показник межі міцності на одноосьове стиснення варіюється в межах від 15 до 35 МПа.

З кожним роком область застосування сучасних кар'єрних комбайнів фрезерного типу розширюється, у зв'язку з можливістю зменшити собівартість видобутку корисних копалин та складною ситуацією гірничодобувних підприємств. Спостерігається тенденція до збільшення показника межі міцності на одноосьове стиснення, що дозволить застосовувати сучасне виймально-навантажувальне обладнання при розробці порід дуже значної міцності.

Про значні досягнення в області розробки гірських порід фрезерними комбайнами, свідчить економічне і селективне видобування залізної руди з межею міцності на одноосьове стиснення 60 МПа, яке проводиться комбайнами фрезерного типу (Wirtgen 4200 SM) в регіоні Пілбара в Західній Австралії (рис. 4). Виконується пошарове фрезерування залізної руди смугами шириною 4200 мм і глибиною від 650 до 830 мм. Технологія видобутку залізної руди дуже відрізняється від традиційної технології ведення добувних робіт. Комбайни фрезерного типу різють, знеміцнюють, виймають та навантажують залізну руду в транспортний засіб за один

робочий цикл. Завдяки чому витрати на виробництво 1 т залізної руди знижуються приблизно на 40% та інвестиційні витрати зменшуються приблизно на 50% у порівнянні з діючою технологією видобутку залізрудного покладу при проведенні буро-підривної підготовки руди до виймання.



Рис. 4. Видобуток залізної руди в кар'єрі Down Under (Австралії) з укладанням її в штабель (по матеріалам Wirtgen Group)

Отже, розширення області застосування безвибухових технологій розробки міцних гірських порід фрезерними комбайнами в умовах роботи залізрудного кар'єру має велике технологічне, екологічне та економічне значення.

Застосування сучасної технології розробки гірських порід кар'єрними комбайнами фрезерного типу на залізрудних кар'єрах характеризується:

відсутністю необхідності проведення масових вибухів та необхідності

отримання дозволу на реалізацію вибухових робіт;

можливістю відрізняти корисну копалину від порід розкриву в масиві;

відсутністю утворення негабариту та отриманням дуже подрібненої гірської маси;

селективним видобутком корисних копалин та в свою чергу контролем кількісних та якісних показників їх вилучення;

відсутністю необхідності зупиняти роботу кар'єра на період проведення підривних робіт та відповідно втратами пов'язаними з простоями технологічних процесів;

зниженням зношення робочих органів та ходових частин гірничо-транспортного обладнання, завдяки отриманому рівномірному шматку знеміцненої породи;

відсутністю перегону гірничо-транспортного обладнання та виконувати демонтаж ліній електропередачі на період проведення підривних робіт;

можливістю ведення відкритої розробки корисних копалин в безпосередній близькості до населеного пункту, через відсутність сейсмічної дії на гірський масив.

Висновки. Розробка породного масиву кар'єрними комбайнами фрезерного типу в умовах залізрудних кар'єрів, потребує встановлення області використання і обґрунтування раціональних параметрів різних технологічних схем видобутку гірських порід.

Застосування комбайнів фрезерного типу потребує проведення детальних досліджень по визначенню оптимальних параметрів елементів системи розробки, так як ефективність його роботи визначається максимальним використанням його технологічних параметрів.

Список літератури

1. Чебан А.Ю. Анализ парка горных машин горнодобывающих предприятий Амурской области / А.Ю. Чебан, И.Ю. Рассказов, В.С. Литвинцев // Маркшейдерия и недропользование. 2012. №2. С. 41-50.
2. Ермаков С.А. Улучшение качества угля за счет селективной разработки сложноструктурного Элгинского каменноугольного месторождения / С.А. Ермаков, В.Л. Гаврилов, Д.В. Хосоев, Е.А. Хоютанов // Наука и образование. 2012. №1. С. 24-29.
3. Ржевский В.В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ / В.В. Ржевский. – М.: Недра, 1980. – 631 с.
4. Ржевский В.В. Комплексы оборудования и вскрытие рабочих горизонтов мощных глубоких карьеров / В.В.Ржевский, В.В.Истомин, В.И.Супрун // Горный журнал. – 1982. – №1 I. – С. 27-30.
5. Тищенко С.В. Особенности разрушения массива горных пород, экранированного замкнутой динамической зоной / С.В. Тищенко, Г.И. Еременко, Д.Ю. Малых // Гірничий вісник. – Кривий Ріг, КНУ, 2014. – Вип. 98. – С. 3-5.
6. Анистратов К.Ю. Безвзрывная выемка полускальных пород на карьерах строительных материалов гидравлическими экскаваторами фирмы «Liebherr» / К.Ю. Анистратов // Горная промышленность. 1998. № 2. С.41-45
7. Фокин В. А. Методика оценки качества контурного взрывания на карьерах / В. А. Фокин, В. А. Александров, М. Б. Тогунов // Горный журнал, 2003. – № 3. – С. 30-33.
8. Ткаченко Г.И. Определение возможности увеличения результирующих углов наклона бортов карьера путем обратных расчетов прочностных свойств пород на примере Глееватского карьера ПАО «ЦГОК» / Г.И. Ткаченко,

Е.В. Герасимова, А.Е. Биленко, А.В. Болотников // Вісник Криворізького національного університету : збірник наукових праць. – Кривий Ріг, КНУ, 2015. – Вип. 39. – С. 122-126.

9. **Євдокименко М.Ф.** Моніторинг та прогноз стану атмосферного повітря під час проведення масових вибухів у залізрудних кар'єрах Кривбасу / **М.Ф. Євдокименко, Є.В. Францев, М.В. Бондар, М.К. Курінова** // Гірничий вісник. – Кривий Ріг, КНУ, 2016. – Вип. 101. – С. 28-32.

10. **Пихлер М.** Wirtgen Surface Miner в Індії. Опыт селективной разработки угольных месторождений / **М. Пихлер, Ю.Б. Панкевич Ю.Б.** // Горная промышленность. 2003. №4. С. 40-47.

11. **Буткевич Г.Р.** Взрывные и безвзрывные способы разрушения скальных пород на карьерах // Строительные материалы. 2011. №2. С. 33-34.

12. **Cheban A.Yu., Sekisov G.V., Khrunina N.P., Shemyakin S.A.** Upgrading continuous and cyclic excavation and transportation during open-pit mining. [Eurasian mining]. 2014, no. 1, pp. 22-24.

13. **Монсини К.Р.** Повышение эффективности механического рыхления горных пород / **К.Р. Монсини, А.О. Мазманиян** // Горный журнал. 1998. №1. С. 39-43.

14. **Анистратов К.Ю.** Безвзрывная выемка полускальных пород на карьерах стройматериалов гидравлическими экскаваторами фирмы Liebherr // Горная промышленность. 1998. №2. С. 41-45.

15. **Панкевич Ю.Б.** Применение мощных гидромолотов фирмы Kupp на безвзрывной разработке месторождений полезных ископаемых решает вопросы экологии и качества продукции // Горная промышленность. 1997. №2. С. 45-48

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

УДК 621.548

В.Й. ЛОБОВ, канд. техн. наук, доц., **К.В. ЛОБОВА**, **А. В. ДАЦЬ**, магістранти
Криворізький національний університет

СУПЕРВІЗОРНЕ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Мета. Метою даного дослідження є питання застосування технології компанії National Instruments з розробкою SCADA системи у програмному середовищі LabVIEW для супервізорного керування роботою технологічного устаткування і газоповітряною енергетичною установкою, призначеної для вироблення електричної енергії при використанні відпрацьованої кінетичної енергії газоповітряних потоків технологічного устаткування.

Методи дослідження. Для супервізорного керування процесом вироблення електроенергії та моніторингу роботи виробничим устаткуванням і газоповітряною енергетичною установкою застосована технологія компанії National Instruments. Запропоновано Supervisory Control And Data Acquisition систему в середовищі розробки Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench для збору і обробки даних на комп'ютері про роботу виробничого устаткування і газоповітряної енергетичної установки.

Наукова новизна. Уперше запропоновано супервізорне керування процесом вироблення електроенергії газоповітряною енергетичною установкою. Розроблені нові елементи віртуального приладу для супервізорного керування.

Практична значимість. Полягає в можливості проектування нових високоефективних газоповітряних енергетичних установок, що поєднують в собі прості в експлуатації системи керування при виробленні електричної енергії.

Результати. Показано, що сучасне виробниче устаткування з газоповітряною енергетичною установкою не в повній мірі забезпечується системами візуалізації, моніторингу і управління апаратно-програмними засобами і мають прості схеми автоматики. Для взаємодії газоповітряної енергетичної установки з комп'ютером розроблені наступні віртуальні пристрої: «Send Receive», «Init», «Close», «Send Receive», «GetParameters», «GetStatus» і «SetParameters». Розроблена віртуальна модель дозволяє супервізорне керування процесом вироблення альтернативної електричної енергії. При цьому використовується технологія компанії National Instruments. Запропоновано Supervisory Control And Data Acquisition систему в середовищі розробки Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench для збору і обробки даних на комп'ютері про роботу виробничого устаткування і газоповітряної енергетичної установки. Мікроконтролер газоповітряної енергетичної установки реалізовано на платі Arduino Uno. Плата має USB канал для підключення до комп'ютеру через послідовний порт. Для обробки даних на комп'ютері та відправлення даних на газоповітряну енергетичну установку розроблено програмне забезпечення.

Ключові слова: виробниче устаткування, газоповітряна енергетична установка, віртуальна модель, супервізорне керування.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-90-97

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Головним фактором підготовленості виробничого устаткування (ВУ) до виконання технологічних програм є забезпечення надійності його роботи. Варто підкреслити, що особливі технічні вимоги до надійності роботи устаткування пред'являє ВУ,

що працює сумісно з газоповітряними енергетичними установками (ГПЕУ). Слід зазначити, що це значно ускладнює їх керування і діагностування в пошуку несправності та подальшого його усунення. Окрім того, специфіка роботи ГПЕУ потребує безперервного моніторингу потужності газоповітряного потоку, який залежить від швидкості, щільності та перетину потоку газу і повітря, що з'являються на виході технологічного тракту ВУ. Стосовно сумісної роботи ВУ і ГПЕУ необхідно зазначити, що максимальне вироблення електричної енергії досягається при оптимізації їх роботи і потребує використання простих засобів для автоматизованого керування.

Різноманіття технічних рішень і стандартів виконання, реалізованих на рівні мікроелектроніки та мікропроцесорної техніки з боку провідних виробників ГПЕУ і конструктивних компонентів механічних вузлів ВУ, ускладнюють діагностику і впливають на час реакції при проведенні керування. Проте сумісна робота ВУ і ГПЕУ повинно базуватися на обов'язковому застосуванні новітніх методів керування і вимагає комплексного підходу до вирішення інженерно-технічних проблем. Для збору даних, обробки, відображення та архівування інформації про роботу ВУ і ГПЕУ, моніторингу або управління особливу популярність в останні десятиліття отримали так звані SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) системи [1, 2]. Проте сучасне ВУ з ГПЕУ практично не забезпечується такими системами та апаратно-програмними засобами для побудови простих систем автоматизації. Це свідчить про те, що тематика досліджень, присвячених керуванню і діагностуванню ВУ, що працюють сумісно з ГПЕУ, є актуальною науковою та практичною задачею.

Аналіз досліджень і публікацій. У дослідженні [3] показано специфіку роботи вітроенергетичного комплексу, що використовує шахтні повітряні потоки. Для реалізації оптимально можливої ефективності функціонування вітроенергетичної установки використовується для практичної реалізації її конструкція, яка має мікропроцесорний блок. Проте в конструкції системи управління не має візуалізації режимів роботи вітроенергетичного комплексу, що знижує надійність його роботи. Вивчаючи питання побудови сучасних автоматизованих систем управління вітроенергетичних установок [4-6], дослідники недостатню увагу приділяють дослідженню впливу газоповітряних потоків на роботу ГПЕУ для отримання максимальної кількості електроенергії [7, 8]. Отримання у споживача додаткової електроенергії за допомогою відбирання кінетичної енергії відпрацьованих газоповітряних потоків від виробничого устаткування взагалі дослідниками не розглядається [9]. Це накладає певні обмеження на використання ГПЕУ. Одночасно відмічається розвиток конструкцій і схем управління вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності [10, 11]. Сучасні дослідження направлені на удосконалення конструкцій та систем управління вітроенергетичних установок [12-14]. Вітроенергетичні установки мають складну електромеханічну систему, та системи керування ними потребують удосконалення. Поставлену задачу удосконалюють пристрої, які використовують потік маси газів: відпрацьованих, вивільнених або видуваних виробничим устаткуванням. Пристрої мають керувану систему управління [15, 16]. Використання енергії вітру при роботі вітроенергетичних установок залежить від швидкості вітрового потоку. Проте вітровий потік змінюється протягом доби, впродовж місяця і сезону року. Тому кінетична енергія вітру має низьку ефективність [17-20]. Для усунення цього недоліку автори пропонують комплексно використовувати вітроенергетичні установки і установки, що працюють на сонячній енергії, або газоповітряні, теплові та гідровлічні потоки [21 - 24]. Але для таких установок у достатній мірі не проводяться дослідження для умов забезпечення максимальної ефективності їх роботи. Не досліджуються шляхи підвищення ефективності роботи ГПЕУ, які працюють від відпрацьованих газоповітряних потоків виробничого устаткування. Вони не мають сучасних систем візуалізації, моніторингу і управління. У науково-технічній літературі присутня велика кількість SCADA-систем зарубіжного і вітчизняного виробництва [1, 2, 24, 25]. Відомі системи дозволяють здійснювати диспетчеризацію і збір даних в автоматизованому режимі роботи ВУ в режимі «on-line» у складі інтелектуальних систем і дає змогу досягти високого рівня автоматизації [26], забезпечення безпеки систем [27], тощо. Задача вибору SCADA-системи є неоднозначною, хоча існують рекомендації по вибору програмно апаратних засобів передачі інформації в SCADA-системи [28]. Як показує виконаний аналіз SCADA-систем, представлених на ринку, потрібна розробка спеціалізованої SCADA-системи (micro-SCADA) для передачі інформації.

Формулювання цілей статті, постановка задачі. Метою даного дослідження є питання застосування технології компанії National Instruments з розробкою SCADA системи у програмному середовищі LabVIEW для супервізорного керування роботою ТУ і ГПЕУ, призначеної для вироблення електричної енергії при використанні відпрацьованої кінетичної енергії газоповітряних потоків ТУ.

Постановка задачі. Для досягнення поставленої мети вирішувалась наступна задача: розробити віртуальний прилад у програмному середовищі LabVIEW, призначений для діагностики та моніторингу роботи технологічного устаткування і газоповітряної енергетичної установки.

Виклад матеріалу і результати. Мікроконтролер ГПЕУ використовує плату Arduino Uno, що має USB канал для підключення до комп'ютеру через послідовний порт [23]. Для обробки даних на комп'ютері та відправлення даних на ГПЕУ використано технологію компанії National Instruments із розробкою SCADA системи у програмному середовищі LabVIEW, бібліотеки якого розширюють можливості програмного забезпечення. Одна з бібліотек, що називається «LabView Interface for Arduino», виконує обмін даними між ВУ та мікроконтролером ГПЕУ. Робота здійснюється за принципом: спочатку посилається команда з комп'ютера, потім мікроконтролер ГПЕУ обробляє її та відправляє відповідь. У бібліотеці є більшість функцій Arduino Uno, щоб використовувати середовище LabView для написання програм. У «LabView Interface for Arduino», є такі, що забезпечують передачу команд на мікроконтролер та їх отримання, без виконання додаткових дій над даними, що відправляються та отримуються. Для взаємодії ГПЕУ з комп'ютером і супервізорного керування роботою ТУ і ГПЕУ, призначеної для вироблення електричної енергії при використанні відпрацьованої кінетичної енергії газоповітряних потоків технологічного устаткування розроблено наступні ВП: «Send Receive», «Init», «Close», «Send Receive», «GetParameters», «GetStatus» і «SetParameters».

ВП «Send Receive» здійснює описані дії. ВП має шість входів і три виходи. Їх призначення наступне. Входи ВП: Arduino Resource – приймає налаштування для роботи з платою Arduino, обов'язково має підключатись і параметри зазвичай отримує від ВП «Init». Max Retries – встановлює максимальну кількість спроб відправки команди на Arduino для отримання відповіді, приймає параметр у вигляді цілого числа. За відсутності підключення цього входу, використовуватиметься значення за замовченням – 10 спроб. Time Out – встановлює кількість мілісекунд очікування між спробами відправки повторних даних. За відсутності підключення цього входу, використовується значення за замовченням – 100 мс. Bytes To Read – параметр застосовується для встановлення кількості байт, що потрібно прочитати з Arduino. Його використання потрібно при очікуванні даних від плати. За відсутності підключення, використовується значення за замовченням – 0 байт. Data – дані, що передаються на Arduino. Максимальний розмір даних складає на 2 байти менше ніж встановлено у ВП «Init». Наприклад, за замовченням максимальна кількість байт – 15, тому передати можна лише 13. У якості даних використовується команда, та додаткові дані для цієї команди, тому вхід має обов'язково підключатись. Error in – масив з помилками від попереднього приладу для додання власних, або сигналізації про не виконання дій у поточному ВП і обов'язково повинен підключатись. Виходи ВП: Arduino Resource – параметри налаштувань для Arduino, зазвичай передаються далі на ВП «Close» для коректного завершення зв'язку і повинен обов'язково підключатись. Read Buffer – дані, що були прийняті з Arduino, при встановленні вхідного параметру «Bytes To Read» більше 0. Зазвичай дані представлені у вигляді масиву символів і підключається за необхідності. Error out – масив із помилками роботи поточного ВП та попередніх підключень і повинен обов'язково підключатись.

Робота ВП «Send Receive» виконується з використанням бібліотеки VISA. За її допомогою ВП здійснює запис даних у послідовний порт, читання даних із послідовного порту. На початку дані, які передаються до Arduino, формуються у пакет, у якому перший байт має значення 0xFF і останній має значення чек-суми. Другий байт має значення команди, що виконуватиметься на платі. Інші байти несуть додаткову інформацію для виконання команди.

Із даних, отриманих від ВП «Init», формуються VISA Resource, що потрібні для роботи бібліотеки VISA, а саме для запису і читання даних з послідовного порту, до якого підключено Arduino. Далі виконується цикл із відправкою даних до плати. Цикл виконується доки не стане доступна кількість байт, що задана у вході «Bytes To Read». Очікування байт здійснюється протягом значення заданого входом «Time Out». Якщо дані доступні, цикл завершується і виконується зчитування байт та передавання їх на вихід «Read Buffer». Якщо дані так і не стали дос-

тупні або кількість байт менше, виконується повторна відправка даних на плату і знову очікування доступності усіх заданих байт. Кількість повторень відправки встановлено входом «Max Retries». При досяганні максимальної кількості проб, дані не передаються на вихід «Read Buffer», а у вихід «error out» додається помилка з номером 5003 із повідомленням про неможливість отримання даних.

ВП «Init» має шість входів і три виходи. Входи ВП «Init»: Connection Type – тип підключення плати Arduino до комп'ютера. Має декілька встановлених значень: USB/Serial, XBEE і BlueSmirf (Bluetooth). За відсутності підключення цього входу, використовуватиметься значення за замовченням – USB/Serial. Board Type – тип плати, що підключається до комп'ютера. Підтримуються наступні плати: Uno, Mega2560 і Dimuelanove w/Atmega 328. За відсутності підключення цього входу, використовуватиметься значення за замовченням – Uno. Bytes Per Packet – максимальна кількість байт, що можна відправити з комп'ютера на плату Arduino за один раз. За відсутності підключення цього входу, використовуватиметься значення за замовченням – 15 байт. Baud Rate – швидкість передачі даних, що встановлена на платі та з якою виконується зв'язок. За відсутності підключення цього входу, використовуватиметься значення за замовченням – 115200. VISA resource – COM-порт, до якого підключена плата. Значення залежить від порту USB, до якого підключено плату і має обов'язково підключатись. Error in – масив із помилками від попереднього приладу для додання власних, або сигналізації про не виконання дій у поточному ВП і підключення не обов'язкове. Виходи ВП «Init»: Arduino Resource – сформовані дані для виконання подальших дій по обміну інформацією з платою Arduino. Підключається до ВП, який постійно повинен відправляти або приймати дані. Error out – масив з помилками роботи поточного ВП та попередніх підключень. Зазвичай підключається до наступного ВП з входом «error in».

ВП «Init» виконує налаштування для подальшої роботи з платою Arduino. Із бібліотеки VISA ВП встановлює початкові параметри для відкриття послідовного порту. Якщо неможливо відкрити порт, то очищується буфер обміну даних між платою та комп'ютером, порт закривається, і через 500 мс виконується повторна спроба. Якщо послідовний порт відкрито, відправляється пакет для синхронізації роботи з Arduino. Плата повинна відправити у відповідь повідомлення «sync». Якщо повідомлення не отримано, очищується буфер обміну даних між комп'ютером і платою, і виконується нова спроба відправки пакету синхронізації та отримання повідомлення. Після виконання 20 спроб, створюється повідомлення про помилку підключення з номером 5002. При успішній синхронізації, на наступний ВП, через вихід Arduino Resource, передаються дані для роботи з платою.

Блок схема ВП «Close» має шість входів і три виходи. Входи ВП: Arduino Resource – приймає налаштування для роботи з платою Arduino, обов'язково має підключатись. Параметри використовуються для закриття з'єднання з платою. Error in – масив з помилками від попереднього приладу для додання власних, або сигналізації про не виконання дій у поточному ВП і підключення обов'язкове. Виходи ВП: error out – масив з помилками роботи поточного ВП та попередніх підключень. ВП «Close» зупиняє передачу даних з Arduino, закриваючи послідовний порт, за яким виконувалось з'єднання. Виконується з використанням бібліотеки VISA.

Для отримання числових даних з Arduino Uno використовується ВП «GetParameters» (рис.1,а) повинен відправляти запит до плати на відправку даних, що зчитані з датчиків. Дані повинні бути представлені, як виходи віртуального приладу. Входи ВП: Arduino Resource – приймає налаштування для роботи з платою Arduino, обов'язково має підключатись. Параметри отримує від ВП «Init». Error in – масив із помилками від попереднього приладу для додання власних, або сигналізації про не виконання дій у поточному ВП. Його підключення обов'язкове. Виходи ВП: Arduino Resource 2 – параметри налаштувань плати Arduino, що передаються на ВП «Close». Voltage Engine, Voltage Generator і Voltage Battery відповідно напруги: на вентиляторі, генераторі, акумуляторі. Temperature – температура електродвигуна вентилятора. RPM Engine – кількість обертів лопотів вентилятора за хвилину. RPM Generator – кількість обертів лопотів генератора за хвилину. Error out – масив з помилками роботи поточного ВП та попередніх підключень.

ВП «GetParameters» використовує ВП «Send Receive» для відправки команди та прийняття даних із плати. На Arduino відправляється команда номер 35, у шістнадцятиричному представлені, що вказує платі відправити на комп'ютер дані, що зчитані з датчиків. Так, як АЦП Arduino

10-розрядний, то значення напруги з АЦП займає 10 біт. Для усунення відправлень нульових біт та зменшення кількості переданої інформації, у біти, що не можуть містити корисної інформації, записуються дані інших значень. Дані з Arduino відправляються по одному байту. 10-бітне число ділиться на 2 байти, з використанням бітових операцій. Так, інформація ділиться наступними чином: 8 молодших біти для розрахунку виходу «Voltage Engine». 2 старших біти для розрахунку виходу «Voltage Engine» і 6 молодших біт виходу «Voltage Generator». 4 старших біти виходу «Voltage Generator» і 4 молодших біти виходу «Voltage Battery». 6 старших біти виходу «Voltage Battery» і 2 молодших біт для розрахунку виходу «Current Engine». По 8 старших біт для розрахунку виходів «Current Engine», «Temperature», «RPM Engine» і «RPM Generator», а по 8 молодших біт для розрахунку виходів «Temperature», «RPM Engine» і «RPM Generator».

Далі для отримання чисел відокремлювались окремі біти та з'єднувались. Так, як LabView не має функцій по виконанню здвигу бітів у числі, то виконувалось множення або ділення у поєднанні з операцією логічного «І». АЦП вимірює напругу в межах від 0 до 5 В, тому для отримання значення напруги виконувалось множення на крок дискретизації, що дорівнює 0,0049. Проте, деякі виміри напруги здійснюються з використанням дільника напруги, то вони додатково множаться на коефіцієнт дільника. Датчик струму побудований з використанням двох датчиків напруги, тому для визначення значення струму різницю напруги розділюємо на номінал резистора, що є шунтом. Датчик температури використовує 2 байти для запису значення температури, а виміри здійснюються у межах від -40 до $+125^{\circ}\text{C}$. Тому значення множиться на крок дискретизації, що дорівнює 0,0625. До отриманого значення додається 0,03125, для точних вимірів, значення отримано при калібруванні датчика. Для визначення швидкості обертання лопатів гвинта приймається час одного оберту, що вимірюється у мікросекундах. Для переведення даного значення у величину обертів за хвилину, потрібно одиницю розділити на час одного оберту за хвилину. Для переведення мікросекунд у хвилини, отримане число множиться на 60000000. Так, як все керування ГПЕУ повинно відбуватись і без використання комп'ютера, то алгоритм управління її роботи виконується завжди у мікроконтролері та на комп'ютер передаються дані про стан роботи.

Для отримання даних, щодо включеного режиму, поточного стану роботи, розроблено ВП «GetStatus» (рис.1 б). Його входи наступні: 1 - Arduino Resource, приймає налаштування для роботи з платою Arduino, обов'язково має підключатись, 2 - параметри отримує від ВП «Init», 3 - error in, масив із помилками від попереднього приладу для додавання власних, або сигналізації про не виконання дій у поточному ВП, 4 - підключення обов'язкове.

Виходи ВП: Arduino Resource 2 – параметри налаштувань плати Arduino, що передаються на ВП «Close». Engine from battery – логічне значення, при значенні «істина» означає, що вентилятор працює від акумулятору. Engine from electricity – логічне значення, при значенні «істина» означає, що вентилятор працює від електричної мережі. Electric power – логічне значення, при значенні «істина» означає, що установка підключена до електричної мережі і готова до роботи. Mode battery – логічне значення, при значенні «істина» означає, що включено режим роботи вентилятора тільки від акумулятору. Mode electricity – логічне значення, при значенні «істина» означає, що включено режим роботи вентилятора тільки від електричної мережі. Mode auto – логічне значення, при значенні «істина» означає, що включено режим роботи, за якого при повному заряді батареї вентилятор працює від акумулятора, а при розряді останнього перемикається на роботу від електричної мережі. Speed – числове значення, у межах від 0 до 255, що показує встановлену швидкість обертів вентилятора. Error out – масив з помилками роботи поточного ВП та попередніх підключень.

ВП «GetStatrus» використовує ВП «Send Receive» для відправлення команди на Arduino, і отримання даних щодо роботи системи. Команда має значення 37, у шістнадцятирічній системі числення. Більшість значень, що повинен комп'ютер отримати від плати мають тип логічного. Відправлення одного байту з логічною одиницею або нулем не вигідно відправляти, тому усі логічні значення записуються у один байт, у якому кожний біт відповідає за своє значення виходу. Так Arduino відправляє на комп'ютер 2 байти інформації, з яких перший – це логічні значення, а другий – цифрове значення швидкості встановленої на вентиляторі. Логічні значення на платі перетворюються у цифрові відповідно: 1 – «істина»; 0 – «неправда». Перший байт формується з бітів (нумерація бітів у байті починається з молодшого біта): 1-й байт - відповідає

виходу «Engine from battery», 2-й байт - відповідає виходу «Engine from electricity», 3-й байт - відповідає виходу «Electric power», 4-й байт - відповідає виходу «Mode battery», 5-й байт - відповідає виходу «Mode electricity», 6-й байт - відповідає виходу «Mode auto», 7-й і 8-й байт - байт - не використовується. Байти від плати надходять у вигляді масиву символів, що потім перетворюються у масив чисел. Друге число масиву відповідає виходу «Speed». Перше потребує розділення на логічні значення. Для розділення використовується перетворення числа, що складається з одного байту у масив з логічних значень. Дані з масиву використовуються у відповідних виходах приладу.

Для управління ГПЕУ, а саме встановлення швидкості вентилятора та режиму роботи, розроблено ВП «SetParameters». Входи ВП «SetParameters»: Arduino Resource – приймає налаштування для роботи з платою Arduino, обов'язково має підключатись. Параметри отримує від ВП «Init», Speed – встановлена швидкість роботи вентилятора. Підключається обов'язково, Auto – при значенні «істина», включення режим роботи, за якого при повному заряді батареї вентилятор працює від акумулятора, а при розряді останнього перемикається на роботу від електричної мережі, Electricity – при значенні «істина», включення роботи вентилятора від електричної мережі, Battery – при значенні «істина», включення роботи вентилятора від акумулятора, error in – масив з помилками від попереднього приладу для додання власних, або сигналізації про не виконання дій у поточному ВП. Підключення обов'язкове. Виходи ВП «SetParameters»: Arduino Resource 2 – параметри налаштувань плати Arduino, що передаються на ВП «Close», error out – масив з помилками роботи поточного ВП та попередніх підключень. ВП «SetParameters» використовує ВП «Send Receive» для відправлення даних на плату. В даному випадку окрім байту команди, що дорівнює 38 у шістнадцятиричній системі числення, на Arduino відправляється два байти додаткової інформації: перший, це швидкість, що встановлюється у межах від 0 до 255, а другий складається з трьох бітів, що мають встановлювати режим роботи (нумерація починається з молодшого біту): режим роботи від акумулятора і електричної мережі, автоматичний режим роботи. У другому байті значення для роботи мають лише три молодші біти. У програмі мікроконтролера не можна встановлювати три режими одночасно у значення «істина», лише один з трьох повинен мати значення «істина». Тому для ввімкнення роботи ГПЕУ потрібно встановити один із режимів та обрати швидкість вентилятора більшою за 0. При встановленні трьох бітів у значення «неправда», відбувається виключення роботи усіх режимів.

У ВП «SetParameters» три логічних перетворюються у число. Для цього кожне логічне значення спочатку перетворюється у 1 або 0, а потім виконуючи бітовий здвиг з використанням множення, так як LabView не має спеціальних команд для цієї операції. У результаті усі три перетворені логічні значення додаються та передаються у третьому байті інформації. Приклад виконання ВП «GetParameters» і «GetStatus» представлені на рис.1.

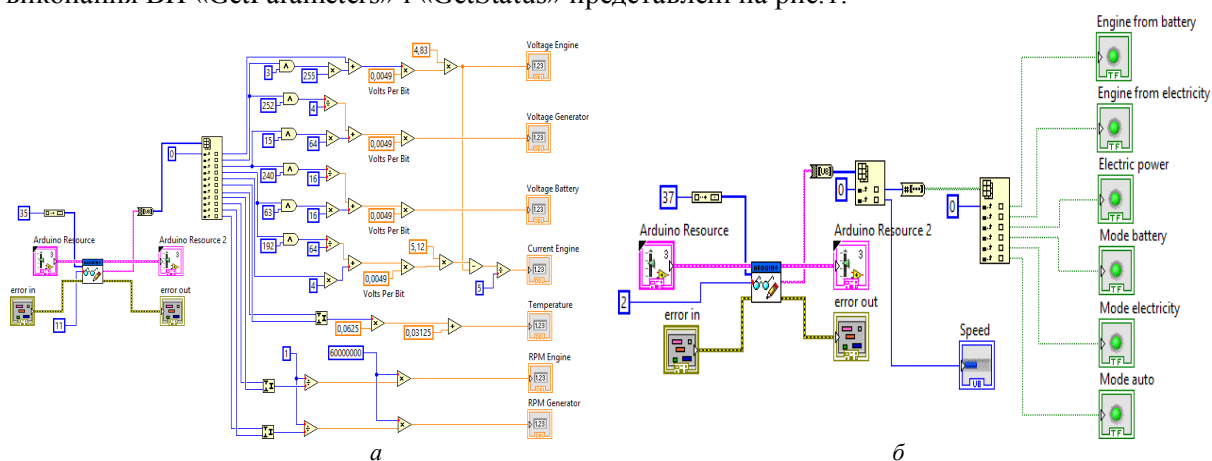


Рис.1. Блок схеми ВП «GetParameters» (а) і «GetStatus» (б)

Розробка програмного забезпечення мікроконтролера виконана за допомогою програмного забезпечення Arduino IDE. Програма мікроконтролера складається з двох частин: системи керування і збір даних, обмін даними з комп'ютером. Для програмного забезпечення використовуються додаткові бібліотеки: MsTimer2 – бібліотека для переривання роботи основної програми через певні проміжки часу, використовуватиметься для паралельного знімання даних з дат-

чику температури, OneWire – використовується для підключення одного або декількох мікросхем, датчик температури використовує цю бібліотеку для обміну даними з платою Arduino, Bounce2 – використовується для усунення брязкоту контактів, так як у програмі підключаються кнопки, використання даної бібліотеки дозволить усунути проблеми з невизначеністю встановленого значення кнопою. За умовами створення програми для мікроконтролера, вона повинна складатись щонайменше з двох функцій. Перша функція Setup це є функція, що виконується лише один раз при включенні плати Arduino. Вона не має вхідних і вихідних даних. Друга функція Loop – функція, що виконується постійно при роботі плати Arduino і вона не має вхідних і вихідних даних. У основній програмі виконується код системи керування та збору даних з датчиків, а також перевіряється надходження команд від комп'ютера. Якщо команда надходить, виконується код для обміну даними з комп'ютером.

Висновки і напрямки подальших досліджень. Застосовано технологія компанії National Instruments для розробки SCADA системи у програмному середовищі LabVIEW для супервізорного керування роботою технологічного устаткування і газоповітряною енергетичною установкою, призначеної для вироблення електричної енергії при використанні відпрацьованої кінетичної енергії газоповітряних потоків технологічного устаткування.

Список літератури

1. SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition by **Stuart A. Bover**, Published by ISA The instrumentation Systems and Automation Society; 3rd edition.
2. **Rajesh Singla and Arun Khosla** . Intelligent Security System for HMI in SCADA Applications / International Journal of Modeling and Optimization, Vol. 2, No. 4, August 2012. 444-448
3. **Сінчук І.О.** Відновлювані та альтернативні джерела енергії : навч. посіб. / **І. О. Сінчук, С. М. Бойко, О. Є. Мельник**. — Кременчук : вид-во ПП Щербатих О. В., 2015. — 270 с.
4. **Щур І.З.** Техніко-економічне обґрунтування параметрів гібридної вітросонячної системи для електропостачання окремого об'єкта / **І.З. Щур, В.І. Климко** // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2014. – Вип. 2. – С. 92–100.
5. **Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И.** Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветроэлектрогенераторы. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет «Харьковский авиационный институт», 2003. – 400 с.
6. **Николаев А. В.** Использование энергии потока воздуха в диффузорном канале шахтной главной вентиляционной установки с целью непрерывной выработки электроэнергии. Вестн. Казан. гос. энерг. ун-та. 2015, N 1, с. 165-166. Рус.
7. **Бурмакин О. А., Малышев Ю. С., Варечкин Ю. В., Сычушкин И. В.** Обоснование эффективности судовых ветрогенераторных установок. Тр. НГТУ. 2014, N 2, с. 160-165. Библ. 3. Рус.; рез. англ.
8. **Куликова Л. В.** Анализ проблем и перспектива оптимального использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для сельскохозяйственных потребителей / **Л. В. Куликова, А. М. Худоногов, А. В. Григорьев** // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2/2. – С. 15.
9. **Лобов В.И.** Автоматизоване керування турбомеханізмом / **В.И. Лобов, К.В. Лобова, О. І. Донченко** // Гірничий вісник. – 2017. – № 102. – С. 191-196.
10. **Кузьо І. В.** Обґрунтування розвитку вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності / **І. В. Кузьо, В. М. Коренді** // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів, 2010. – № 679. – С. 61-67.
11. **Шихайлов М. О.** Особенности конструкций и использование ветроэнергетических установок малой мощности / **М. О. Шихайлов, Ю. П. Фаворский** // Электрик. – 2006. – № 1-2. – С. 29-31.
12. **Крюков, О.В.** Интеллектуальные ветроэнергетические установки для автономных систем электроснабжения / **А.В. Серебряков, О.В. Крюков**; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2014. – 135 с.
13. **Субота А.М.** Система управління вітроенергетичною установкою / **А.М. Субота, І.Ю. Дибська, О.В. Заболотний** // Радіоелектронні і комп'ютерні системи, 2009, № 3 (37)
14. **Серебряков А.В.** Как повысить энергоэффективность ветроэнергетической установки / **А.В. Серебряков, А.Б. Васенин, В.Г. Титов** // Главный энергетик. – 2015. – № 1. – С. 58-64.
15. **Удлер Э. И., Лысунец А. В., Медведев В. В.** Использование генераторного газа для получения электрической энергии на предприятиях. Автотрансп. предприятие. 2015, N 6, с. 51-53. Рус.
16. **Тумашев Р. З., Щеголев Н. Л., Кулаков Д. М.** Утилизация шахтного метана в газотурбинных установках для производства электрической энергии и теплоты. Безопас. в техносфере (Москва). 2015, N 5, с. 41-48. Библ. 11. Рус.; рез. англ.
17. **Соколовский Ю.Б.** О применении ветровых энергетических установок / **Ю.Б. Соколовский, А.Ю. Соколовский, Л.Г. Лимонов** // Электротехнические и компьютерные системы. – 2014. – №16(92). – С. 7-15.
18. **Івашко О.** Як підкорили вітер сучасні Дон Кіхоти : в Миколаїв. обл. запрацювала перша промислова вітроелектростанція // Уряд. кур'єр, 2012. – № 2. – С. 8.
19. PSS E Wind and Solar Models [Електронний ресурс]// UWIG/EnerNex/DOE Workshop. – Електрон. дані. – NY, 2011. – Режим доступу: http://www.nvso.com/public/webdocs/markets_operations/services/planning/Documents_and_Resources/Conferences_and_Workshops/DOE_Wind_Turbine_Plant_Mdlg_wkshop/PSS_E_Wind_Solar_Models_Kazachkov.pdf. – Назва з екрану. – Дата перегляду: 07.12.17
20. **Мацкевич П.** Використання енергії вітру // ЕКОінформ. –2011. – № 5. – С. 36-38.

21. **Щур І.З.** Техніко-економічне обґрунтування параметрів гібридної вітросонячної системи для електропостачання окремого об'єкта / **І.З. Щур, В.І. Климко** // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2014. – Вип. 2. – С. 92–100.

22. Пат. № 105303 Україна, МПК (2016.01) F03D 1/04, F03D 9/25. Спосіб отримання електроенергії / **Лобов В.Й., Лобова К.В.**; заявл. ДВНЗ «Криворізький національний університет». - № 201509470; заявл. 01.10.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. – 6 с.

23. Пат. № 119021 Україна. МПК (2006) F03B 13/00/ Пристрій для автоматичного керування електроспоживанням технологічної установки / **Лобов В.Й., Лобова К.В. Даць А.В.**; заявник і патентовласник ДВНЗ «Криворізький національний університет». - № u201701906 заявл. 27.02.2017; опубл. 11. 09. 2017, бюл. №17.

24. SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition by Stuart A. Bover, Published by ISA The instrumentation Systems and Automation Society; 3 rd edition.

25. Системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA-системы) // Мир компьютерной автоматизации (3/1999), <http://ankey.ru/tech/scada/intro.htm>

26. **Rajesh Singla and Arun Khosla** . Intelligent Security System for HMI in SCADA Applications / International Journal of Modeling and Optimization, Vol. 2, No. 4, August 2012. 444-448

27. Chapter 47 SaskEnergy—SCADA System Security 1.0 MAIN POINTS

28. SCADA система. SIMATIC WinCC V7.0 // ООО Сименс. Информация по продуктам. – URL: http://iadtsiemens.ru/assets/files/infocenter/catalogs_and_brochures/as/ProductInfo/13_WinCC_V70_r.pdf. – С.126–129.

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

УДК 622.234.4: 622.349.5: 622.831

О.В. КАЛІНІЧЕНКО, канд. екон. наук, доц., Криворізький національний університет

ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ МАСИВУ ПРИ ФОРМУВАННІ ТА ПІДТРИМЦІ ПІДЗЕМНИХ ГІРСЬКИХ ВИРОБОК

Мета. Метою даної роботи є розробка методики фізичного моделювання стійкості масиву при формуванні та підтримці підземних гірських виробок в умовах напружено деформованого стану масиву.

Методи дослідження. Для визначення несучої здатності та стійкості гірського масиву при формуванні та підтримці підземних виробок в умовах напружено деформованого стану масиву в роботі виконувалися експериментальні дослідження на моделях з еквівалентних матеріалів. Лабораторними дослідженнями встановлено та визначено якісні закономірності розвитку деформацій масиву гірських порід, комбінованих штучних масивів та умови їх функціонування при відпрацюванні як багатих залізних руд, так і бідних магнетитових кварцитів підземним способом.

Аналіз методів моделювання, заснованих на теорії подібності дозволив зробити висновок, що при моделюванні на статичних моделях обов'язково необхідно дотримуватися масштабу моделювання. Тому в процесі моделювання дотримані критерії подібності, що забезпечують подібність механічних процесів та пропорційність фізичних констант, які мають вирішальне значення для досліджуваного явища.

Наукова новизна. В процесі лабораторного експерименту вперше була отримана картина напружень і деформацій в гірському масиві при очисних роботах на ділянці родовища, що моделювала шахтне поле ш. Гігант-Глибока. Визначені залежності та встановлені закономірності несучої здатності та стійкості масиву магнетитових кварцитів при формуванні та підтримці підземних гірських виробок в умовах його напружено деформованого стану.

Практична значимість. Запропонована методика фізичного моделювання несучої здатності та стійкості масиву при формуванні та підтримці очисних камер в умовах напружено деформованого стану гірського масиву при відпрацюванні магнетитових кварцитів підземним способом. Отримана фізична картина деформації денної поверхні при формуванні та існуванні очисних камер довгострокового консервування на трьох робочих горизонтах.

Результати. На підставі виконаних досліджень та встановлених залежностей визначено зміну напружено-деформованого стану масиву в умовах шахтного поля ш. Гігант-Глибока. Доведена доцільність заповнення існуючих камер закладочними сумішами. Це дозволяє забезпечити безпеку та можливість подальших робіт та гарантує збереження денної поверхні в зоні впливу існуючих відпрацьованих камер.

Ключові слова: фізичне моделювання, підземні виробки, очисні камери, напружено деформований стан, гірський масив.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-97-102

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Дослідження стійкості масиву гірських порід при формуванні в ньому очисних камер довгострокового консервування в натурних умовах пов'язані з великими виробничими труднощами.

У разі досліджень комбінованих масивів, що представляють собою відпрацьовані очисні ділянки, камери яких заповнені твердіючим або іншим закладним матеріалом, задача отримання реальної картини процесів, що відбуваються в масиві також надзвичайно ускладнена. Це

викликано, перш за все, відсутністю досвіду відпрацювання родовищ Криворізького басейну камерними системами розробки з комбінованою закладкою виробленого простору.

Отже, для отримання адекватних результатів виникає нагальна потреба у виконанні спеціальних аналітичних і експериментальних досліджень, що дозволять розробити методику визначення оптимальних параметрів комбінованого відпрацювання родовищ камерними системами розробки з комбінованою закладкою.

Для досягнення поставленої задачі в роботі виконувалися експериментальні дослідження на моделях з еквівалентних матеріалів. Метою даних досліджень було вивчення якісних закономірностей розвитку деформацій масиву гірських порід, комбінованих штучних масивів і умов їх функціонування при відпрацюванні як багатих залізних руд, так і бідних магнетитових кварцитів підземним способом.

Аналіз досліджень і публікацій. Порядок проведення лабораторних досліджень та методика вибору складів для моделювання на еквівалентних матеріалах досить повно розглянута в роботах М.І. Ступніка [1, 3–5], О.В. Калініченко [1–5], І.Д. Насонова [6], Г.М. Кузнєцова [7], М.В. Кірпи́чова [8], а також в інших роботах.

Аналіз методів моделювання, заснованих на теорії подібності призводить до висновку, що при моделюванні на статичних моделях обов'язково необхідно дотримуватися масштабу моделювання [3 – 9].

У цьому випадку всі розміри досліджуваної системи в натурі і розміри її в моделі будуть змінені в певну кількість разів.

Масштаб моделювання C_i визначається з виразу

$$C_i = \frac{l'_n}{l'_m} = \frac{l''_n}{l''_m} = \dots = \frac{l^i_n}{l^i_m}, \quad (1)$$

де l_m, l_n – лінійні розміри відповідно в моделі в натурі.

При розгляді фізичного моделювання з використанням еквівалентних матеріалів В.Р. Іменітов [11] визначив принцип підбору матеріалу моделі. Так для дотримання рівності зчеплення матеріалів моделі і природи при моделюванні на еквівалентних матеріалах необхідно зменшити кількість дрібних фракцій. Однак, при цьому, може змінитися коефіцієнт внутрішнього тертя ρ , для якого масштаб моделювання дорівнює одиниці, тобто $tg\rho_m = tg\rho_n$.

Подальші дослідження ряду авторів [5, 7, 9, 10, 12] підтверджують необхідність дотримання цих критеріїв подібності. Відповідність зазначених критеріїв досягається підбором еквівалентного матеріалу, в якому гранулометричний склад має першорядне значення.

Постановка завдання. В процесі моделювання дотримання всіх критеріїв подібності, що забезпечують подібність механічних процесів неможливо, тому необхідно виділити і забезпечити пропорційність фізичних констант, що мають вирішальне значення для досліджуваного явища. Тому метою даної роботи є розробка методики фізичного моделювання стійкості масиву при формуванні та підтримці підземних гірських виробок в умовах його напружено деформованого стану.

Викладення матеріалу та результати. Для визначення зміщення порід, а також навантажень тиску, які виникають в процесі відпрацювання гірського масиву підземним способом, необхідно дотримуватися динамічної подібності. При цьому повинні бути дотримані умови стійкості для сипучих матеріалів

$$\tau = \sigma_n \cdot tg\rho + c, \quad (2)$$

де τ – дотичні напруження на заданій площі, т/м²; σ_n – нормальні напруження на заданій площі, т/м²; ρ – кут внутрішнього тертя гірських порід, град.; c – коефіцієнт зчеплення порід.

Основною умовою динамічної подібності є дотримання подібності кута внутрішнього тертя корисних копалин, значення зчеплення порід, яке можливо досягти додатком на модель зовнішнього навантаження.

Розрахунок зовнішнього навантаження P_m , яке необхідно докласти при моделюванні, визначають за формулою, запропонованою Г.М. Кузнєцовим [7]

$$P_m = P_n \frac{l_n^3 \cdot \gamma_n}{l_m^3 \cdot \gamma_m}, \quad (3)$$

де P_m, P_n – зовнішнє навантаження відповідно в моделі і в натурі, т/м²; γ_n, γ_m – об'ємна вага руди відповідно в моделі і в натурі, т/м³.

Гранулометричний склад сумішей оцінюється за величиною діаметра середнього куска

$$d_{\text{сер}} = \frac{\sum d_i \cdot \gamma_{\phi}}{100}, \quad (4)$$

де $d_{\text{сер}}$ – середній діаметр куска, мм; d_i – середній діаметр фракції, мм; γ_{ϕ} – процентний вміст фракції, %.

Розрахункова кількість експериментів визначається за критерієм Стюдента. Функція розподілу коефіцієнта Стюдента визначається за формулою

$$t_p = \frac{\bar{\varphi} \cdot \sqrt{n}}{S_x}, \quad (5)$$

де $\bar{\varphi}$ – середнє значення кута опору руху, град.; n – кількість виконаних експериментів; t_p – розрахункове значення критерію Стюдента; S_x – вибіркова дисперсія.

Вибіркова дисперсія відхилення визначається з виразу

$$S_x^2 = \frac{\sum (\varphi - \bar{\varphi})^2}{n - 1}. \quad (6)$$

При проведенні експериментів значення t_p визначається після кожної серії дослідів. Розрахункове значення t_p порівнюється з критичним $t_{\text{кр}}$ за спеціальними таблицями [13, 14].

Якщо розрахункове значення виявляється більше критичного, досліди повторюються до забезпечення збіжності результатів на 85–95 %.

Вибір масштабу моделювання виконується виходячи з мети і завдань досліджень, глибини розробки, методики вимірювань деформацій і напружень, можливості лабораторного обладнання, фізико-механічних властивостей еквівалентних матеріалів.

В процесі експерименту була отримана картина напружень і деформацій в гірському масиві при очисних роботах.

Моделювання виконувалося на плоско-поворотному стенді розміром 5000×5000×500 мм.

Перед початком лабораторних експериментів на передню стінку моделі в масштабі 1:500 наносили геологічний розріз родовища, характерний для досліджуваної ділянки (рис. 1).

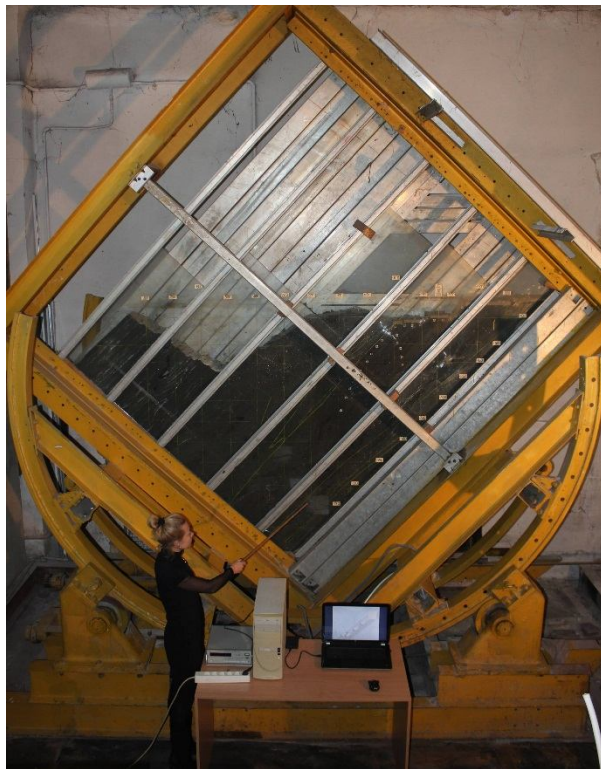


Рис. 1. Загальний вигляд плоско-поворотного стенду

Заповнення моделі еквівалентного матеріалу виконували пошарово, від лежачого до висячого боку відповідно до фізико-механічних властивостей геологічних шарів руди і гірських порід. Порядок їх розташування на геологічному розрізі відповідав стратиграфічному поділу ділянки.

Крім цього, виконувалося моделювання ділянки шахтного поля по простяганню рудного тіла. В цьому випадку досліджували поведінку гірського масиву при відпрацюванні родовища камерними системами розробки.

Перша серія експериментів була присвячена визначенню деформацій очисних горизонтів і денної поверхні при формуванні очисних камер на одному, двох і трьох горизонтах, відповідно до реальної картини відпрацьованого шахтного поля шахти «Гігант-Глибока» в поверхах 300–380 м, 460–540 м, 630–710 м.

Друга серія експериментів була присвячена дослідженню НДС масиву при заповнен-

ні очисних камер закладними матеріалами.

Технологія закладання камер здійснювалась відповідно до рекомендованої технології закладних робіт.

Технологія формування комбінованого масиву відповідала прийнятій технології заповнення моделі еквівалентним матеріалом.

Ослаблення на контактах між шарами здійснювалося за рахунок тонкого шару слюдовміщуючого матеріалу.

У місцях перетину шарів і безпосередньо в самих шарах розміщували тензометричні датчики.

Тарування датчиків здійснювалося шляхом встановлення залежності показань індикаторного пристрою від деформації тензометра.

Тарування виконувалося на гідравлічному пресі ПСУ-250 при плавному збільшенні навантаження на зразок, на який перед тарування наклеювали тензометр. Деформація при таруванні вимірювалась за допомогою індикатора годинникового типу з ціною поділу 0,001 мм.

Електричний сигнал від тензодатчика, викликаний деформацією зразка при навантаженні преса, записувався в таблицю після чого будувався тарувальний графік. При напрузі на вимірювальному мосту порядку 3,5 В на описуваному приладі з тензомерами типу ПБ з базою 20 мм одне ділення гальванометра відповідало відносної деформації $5 \cdot 10^{-5}$ мм, з базою $5-5 \cdot 10^{-6}$ мм.

Важливою умовою надійності роботи тензометра є міцна наклейка його на робочу поверхню. Для цього місце наклейки ретельно очищається від механічного і хімічного бруду.

Для правильної орієнтації тензометрів на поверхні зразка роблять розмітку осевих ліній.

Як показала практика, найбільш ефективними є зразки гірської породи розміром $50 \times 50 \times 100$ мм.

Техніка монтажу схем тензодатчиків включає в себе всі основні правила монтажу електричної вимірювальної апаратури. Після виготовлення моделі в повному обсязі їй давали можливість відстоятися протягом 10 діб. За цей час відбувається природне ущільнення матеріалу під дією власної ваги.

Після здійснення підготовчих операцій модель повертали на кут, рівний куту падіння рудного покладу в природних умовах і починали підготовку до моделювання відпрацювання родовища шляхом виїмки очисних блоків. Для цього ділянку на задній стінці моделі, де розташовується рудний поклад закривали спеціально виготовленої розбірною секцією, яка забезпечувала доступ до будь-якої ділянки рудного тіла.

При моделюванні відпрацювання блоку еквівалентний матеріал виймався з вікна, розташованого на задній стінці моделі.

На передній площині в породах лежачого боку і на денній поверхні встановлювалися репера, призначені для реєстрації зрушень. На конструктивних елементах системи розробки (стелині, МКЦ) закріплювалися базові репера, які залишалися нерухомими на весь час проведення експерименту.

Для полегшення візуальної реєстрації зрушень при відпрацюванні моделюємого родовища на передню (скляну) площину моделі маркером наносили сітку з позначенням горизонтів і маркшейдерських осей. Після цього первісний стан моделі та наступні стадії відпрацювання покладу фіксувалися візуально, фотографувалися, а дані зсувів базових реперів заносилися в таблицю.

Вилучення запасів очисних камер здійснювалося відповідно до порядку відпрацювання родовища для отримання реальної картини напружено-деформованого стану гірського масиву після відпрацювання кожної очисної камери.

В процесі моделювання фіксувався гірничий тиск в породах висячого і лежачого боків, аналізувався характер зрушення порід і утворення тріщин, процеси, що відбувалися в моделі при відпрацюванні очисних блоків з еквівалентного матеріалу.

Крім того, фіксувалися деформації денної поверхні в процесі моделювання очисної виїмки камер на відпрацьованих ділянках родовищ.

Для коректного порівняння результатів проведених експериментальних досліджень з результатами математичного моделювання параметри лабораторного моделювання відпрацьованої ділянки шахтного поля приймалися адекватними математичній моделі. З цієї метою споча-

тку відпрацьовувалися дві очисні камери гор. 400–480 м відповідно до розрахункових математичних моделей.

На першому етапі лабораторних досліджень встановлювалася принципова збіжність отриманих результатів з результатами математичного моделювання.

Межа міцності еквівалентного матеріалу гірського масиву відповідала природній межі міцності гірського масиву на стиск $\sigma_{сжзм}=140$ МПа.

Межа міцності еквівалентного матеріалу закладки відповідала межі міцності закладки в натурних умовах в межах $\sigma_{сжз}=6$ МПа.

Величина деформацій еквівалентного матеріалу вимірювалася в контрольних точках, аналогічних контрольним точкам розрахункових досліджень при математичному моделюванні.

Результати лабораторних досліджень з урахуванням масштабу моделювання представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Величина деформацій в контрольних точках досліджуваного масиву					
Межа міцності на стиск, МПа		Деформації стеліни камер, мм		Деформації денної поверхні, мм	
гірських порід	закладки	пусті камери	камери з закладкою	пусті камери	камери з закладкою
80	6	94	72	154	112
100	6	88	69	146	108
120	6	84	67	138	105
140	6	80	65	133	103

Висновки та напрямки подальших досліджень. Таким чином можна констатувати, що розрахунок напружено-деформованого стану гірського масиву з пустими відпрацьованими камерами та гірського масиву з масиву з камерами, заповненими закладним матеріалом, що виконувався чисельними методами, дозволяє отримати коректні значення величини напружень і деформацій в контрольних точках.

Виконані лабораторні експерименти підтверджують результати аналітичних досліджень. Отримані дані тотожні математичними розрахунками і показують хорошу збіжність отриманих результатів.

Величина похибки математичних розрахунків і лабораторних експериментів не перевищує 12–15 %.

Список літератури

1. **Ступнік М.І.** Determining the qualitative composition of the equivalent material for simulation of Kryvyi Rih iron ore basin rocks / M.I. Stupnik, V.O. Kalinichenko, S.V. Pysmennyi, E.V. Kalinichenko // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпро. – 2018. – № 4. – С. 21–27.
2. **Калініченко О.В.** Управління процесами підземних гірничих робіт з урахуванням впливу на них напружено-деформованого стану гірського масиву / О.В. Калініченко // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія «технічні науки». Том 29 (68). №2, 2018. – С.232–236.
3. **Ступнік М.І.** Моделювання напружено-деформованого стану гірського масиву шахти «Гігант-Глибока» при застосуванні технології з твердіючою закладкою / М.І. Ступнік, В.О. Калініченко, О.В. Калініченко, С.В. Письменний, М.Б. Федько // Геотехнічна механіка: міжвідомчий збірник наукових праць. – Дніпро. – 2017. – Вип. 135. – С. 229–238.
4. **Ступнік М.І.** Дослідження та моделювання напружено-деформованого стану стеліни шатрової та склепистої форми / М.І. Ступнік, О.В. Калініченко // Геотехнічна механіка: міжвідомчий збірник наукових праць. – Дніпро. – 2017. – Вип. 138. – С.22–29.
5. **Ступнік М.І.** Method of simulating rock mass stability in laboratory conditions using equivalent materials / M. Stupnik, V. Kalinichenko, S. Pysmennyi, O. Kalinichenko, M. Fedko // Mining of Mineral Deposits, National Mining University. – 2016. – Volume 10, Issue 3. – P. 47–52.
6. **Насонов И.Д.** Моделирование горных процессов / И.Д. Насонов. – М. : Недра, 1978. – 256 с.
7. Изучение проявлений горного давления на моделях / Г.Н. Кузнецов, М.Н. Будько, А.А. Филиппова. – М. : Углетехиздат, 1959. – 283 с.
8. **Кирпичев М.В.** Теория подобия / М.В. Кирпичев. – М. : Академия Наук СССР, 1953. – 95 с.
9. **Алабурхаев П.М.** Теория подобия и размерностей. Моделирование / П.М. Алабурхаев, В.Б. Теропамус. – М. : Высшая школа, 1968. – 206 с.
10. **Глушихин Ф.П.** Моделирование в геомеханике / Ф.П. Глушихин. – М. : Недра, 1991. – 240 с.
11. **Именитов В.Р.** Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений : учебное пособие для вузов / В.Р. Именитов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1984. – 504 с.
12. 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.

13. Хартман К. Планирование эксперимента в исследованиях технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер и др. – М. : Недра, 1977. – 552 с.

14. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов / Е.Г. Чаповский. – Изд. 4-е. – М. : Недра, 1975. – 304 с.

Рукопис подано до редакції 18.04.2018

УДК 622.23.

А.С. ГРОМАДСКИЙ, д-р техн. наук, проф., В.А. ГРОМАДСКИЙ, канд. техн. наук, доц., Вик.А. ГРОМАДСКИЙ, канд. техн. наук, ст. преподаватель, Ю.И. ЧУМАК, ст. преподаватель Криворожский национальный университет

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБОРОТОВ БУРОВЫХ СТАВОВ СТАНКОВ ШАРОШЕЧНОГО БУРЕНИЯ

Цель. Повышение производительности бурения станка шарошечного бурения за счет обоснования рациональных эксплуатационных параметров вращения бурового става.

Методы исследования. В работе использован комплекс методов научных исследований, включающий теорию подобия и анализа размерностей, теорию скейлинга или масштабную инвариантность, теорию спектрального анализа колебаний бурового става и метод суперпозиции – при решении дифференциальных уравнений.

Научная новизна полученных результатов заключается в том, что:

- впервые установлена зависимость появления флаттера бурового инструмента вследствие совпадения частоты его вращения с собственной частотой поперечных колебаний бурового става;
- впервые установлены путем математического моделирования нелинейные безразмерные зависимости частот и амплитуд поперечных собственных колебаний бурового става как от параметров вращения става, так и от внешних возмущений.

Практическое значение. Выполнен теоретический анализ эффективности амортизаторов изгибных колебаний – НСП, установлено, что они позволяют значительно (в 6 раз) уменьшить поперечные колебания бурового става до 26 мм, однако не исключают появление флаттера бурового инструмента, поэтому обоснован выбор более эффективной системы виброгашения с накладными скользящими полумуфтами (НСП).

Разработана система гашения поперечных колебаний с НСП, эффективность которой проверена расчетами и смоделирована с помощью SolidWorks.

Разработана действующая модель станка шарошечного бурения, которая позволяет производителю станков шарошечного бурения ООО «Завод буровой техники «ДСД» выбирать рациональные параметры систем гашения поперечных колебаний буровых ставов, разработан эскизный проект и рабочая документация действующей модели, изготовление которой начато на ООО «Завод буровой техники «ДСД», г. Кривой Рог.

Разработанные рабочие чертежи действующей модели внедрены в проект на ООО «Завод буровой техники ДСД».

Результаты. Разработана система гашения поперечных колебаний бурового става с амортизаторами изгибных колебаний (НСП) она снижает вибрацию бурового става в 7,4 раза и исключает флаттер бурового инструмента.

Ключевые слова: станки шарошечного бурения, рациональные параметры оборотов бурового става, система гашения вибрации.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-102-112

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Обоснована актуальность статьи, её связь с научными программами, планами, темами, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы, подтверждена достоверность и обоснованность полученных результатов.

Анализ исследований и публикаций. Проанализированы причины возникновения и характер колебательных процессов при эксплуатации бурового оборудования. По мнению В.И. Артыма и Е.И. Крижановского проблема повышения эксплуатационной надежности трубных и штанговых колонн для бурения взрывных скважин неразрывно связана с достоверной оценкой их нагрузок. Особенностью работы элементов трубных и штанговых колонн является чрезвычайно интенсивный и пиковый характер нагрузок. Он зависит, в первую очередь, от нестационарности и сложного полигармонического состава при вращении буровых ставов. А.С. Бешта впервые для станков шарошечного бурения приводит математическую модель про-

дольных и крутильных колебаний буровой штанги, а также зависимости низших частот собственных продольных и крутильных колебаний от длины буровой колонны. В.В. Симонов, Е.К. Юнин и А.Е. Сароян сходятся во мнении на основе проведенных испытаний, что падающая моментная характеристика долота при увеличении угловой скорости его вращения является причиной крутильных и продольных колебаний. В работе В.С. Хилова приведена расчетная схема и определены низшие собственные частоты поперечных колебаний буровой штанги – $\omega=61-59$ 1/с для различных осевых усилий подачи R в диапазоне 50–350 кН. Проведен анализ методов и средств снижения колебаний бурового става, рамы и кабины машиниста станка шарошечного бурения.

Постановка задачи. Предложить конструкцию и обосновать рациональные параметры оборотов бурового става станка для различных режимов бурения.

Изложение материала и результаты. В статье рассмотрена линейная динамика вращения буровых ставов, выбраны рациональные режимы бурения и энергозатрат при работе станков шарошечного бурения типоразмера СБШ-250.

При исследовании устойчивости бурового става под действием Эйлеравой силы для того, чтобы рассчитывать сжатые стержни на устойчивость, необходимо определить критические нагрузки $P_{кр}$ [11]. Критическая сила сжатого стержня определяется по формуле Эйлера

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EJ_{min}}{(\mu l)^2}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости материала стержня, Па; J_{min} – момент инерции сечения стержня, m^4 ; l – длина стержня, м; μ – коэффициент, учитывающий условия закрепления концов бурового става.

Из приведенных в табл. 1 данных видно, что проблем с потерей устойчивости става по критической силе для буровых штанг не существует, т.к. все расчетные критические силы для буровых штанг меньше верхнего предела усилия подачи – 350 кН и не только для тяжелых, но и более легких $\varnothing 180 \text{ мм} \times S_{стенки} = 35 \text{ мм}$.

Таблица 1

Размеры штанг ($\varnothing_{нар.} \times S_{стенки}$), мм	Расчетная критическая Эйлерава сила $F_{кр}$		
	$P_{кр}$, кН		
	При расчете коэффициент, учитывающий закрепление концов става принят $\mu=1$		
	длина бурового става l , м		
	8	16	24*
215×51,5	7811,236	1952,810	867,916
203×50	6257,325	1564,330	695,261
203×38	5674,882	1418,719	630,542
203×28	4858,778	1214,690	539,862
203×22	4179,305	1044,820	464,370
200×50	5919,404	1479,847	657,709
200×36	5254,709	1313,679	583,857
200×25	4316,232	1079,059	479,581
180×35	3564,862	891,217	396,099

Примечание: максимальная глубина бурения станками СБШ-250 в Кривбассе

Устойчивость бурового става при учете совместного действия Эйлеравой и динамической центробежной сил нестабильна. При вращении изогнутого стержня возникает центробежная сила, которая вызывает дополнительный изгиб. Это приводит к увеличению эквивалентной критической силы P_{Σ} , которую можно рассчитать по формуле

$$P_{\Sigma} = P_0 + \left(0,076 \cdot \frac{q}{g} \omega^2 l^2 \right), \quad (2)$$

где P_0 – осевая сжимающая сила (осевая нагрузка), Н; $0,076 \cdot q/g \cdot \omega^2 l^2$ – динамическая составляющая, учитывающая изгиб бурового става, Н; q – приведенная масса (собственная массовая интенсивность), кг/пог. м става; g – ускорение свободного падения, 9,81, м/с²; ω – угловая скорость вращения бурового става, рад/с; l – длина бурового става, м.

Уравнение (2) решено графическим способом с помощью программы Mathcad, в результате построены графики, рис. 1, зависимостей эквивалентной критической силы P_{Σ} и Эйлеравой силы $P_{кр}$ от длины бурового става.

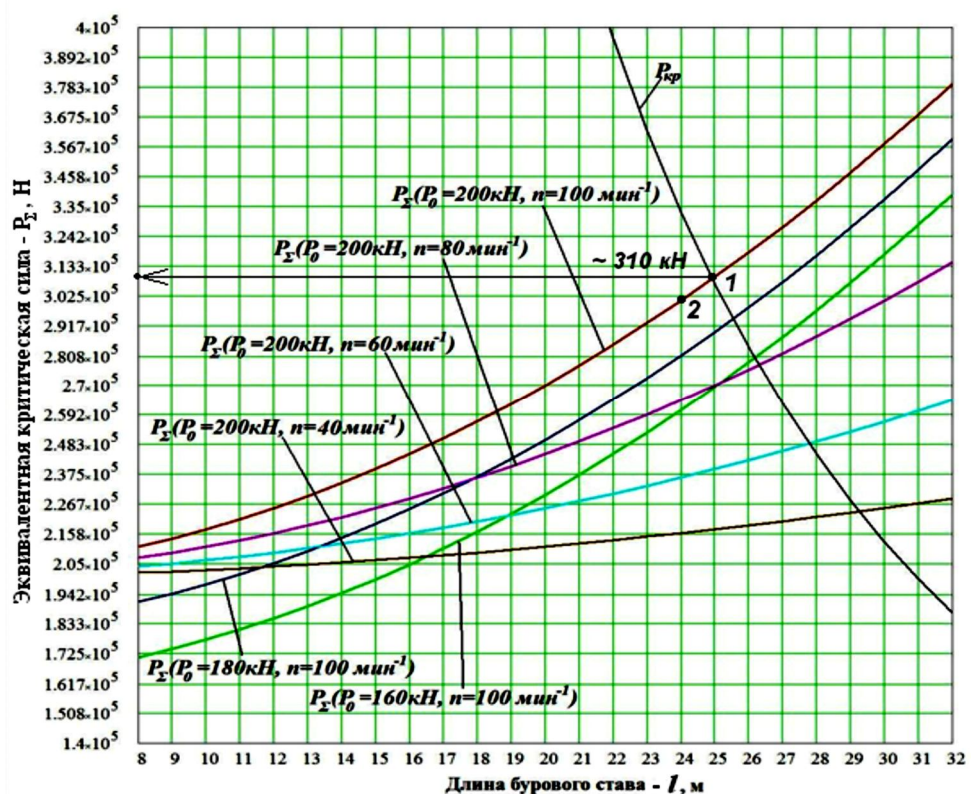


Рис. 1. Результаты расчета эквивалентной критической силы $P_{кр}$ по формуле (2)

Однако, при бурении двумя тяжелыми штангами длиной 16 м часто возникают режимы бурения с возникновением резонанса бурового става – явление, которое мы назвали флаттером бурового инструмента [9, 10, 12]. Нами установлено, что флаттер бурового инструмента развивается в два этапа. Первый – совпадение первой моды собственных колебаний буровой штанги с частотой вращения бурового инструмента. При этом в зависимости от содержимого скважины (сухая породная мелочь – шлам или пульпа различной плотности выдуваемые сжатым воздухом) постепенно или резко увеличиваются амплитуды поперечных резонансных колебаний буровой штанги до тех пор, пока их величина не превысит зазор между наружной поверхностью штанги и стенкой скважины. В этот момент наступает второй – основной этап развития флаттера. Штанги с большой силой в виброударном режиме скоблят по стенке скважины. Одновременно возбуждаются все моды собственных колебаний, наступает полигармонический резонанс и флаттер бурового инструмента.

Исследование вибрации бурового става при появлении флаттера бурового инструмента выполнено на буровых ставах длиной 8, 16 и 24 м. Установлено, что при бурении одной 8-ми метровой штангой флаттер не возникает, поскольку резонанс на первой моде может возникнуть на частоте 7,5 Гц, т.е. при числе оборотов 450 мин^{-1} . Для станков шарошечного бурения, применяемых в Кривбасе, такой режим невозможен, т.к. максимальное число оборотов на станках СБШ-250 – 150 мин^{-1} .

При бурении буровыми ставами длиной 16 м (двумя 8-ми метровыми штангами) флаттер возникает рис. 2 на резонансной частоте 1-й моды – 1,78 Гц со всеми его разрушительными последствиями. При бурении буровыми ставами 24 м – тремя 8-ми метровыми штангами флаттер возникает на резонансной частоте 0,8 Гц, т.е. при частоте оборотов 50 мин^{-1} . Он бурильщикам неизвестен, т.к. это нерабочий режим бурения.

Результаты наших исследований проверены экспериментально на буровом станке УСБШ-250А № 87 карьера Ингулецкого горно-обогатительного комбината.



Рис. 2. Флаттер бурового инструмента на буровых ставах различной длины

где $y=y(x,t)$ - поперечное перемещение бурильной штанги; E - модуль упругости материала штанги, Н/м²; J - момент инерции поперечного сечения штанги, м⁴; m - интенсивность массы штанги, кг/м; R - усилие подачи штанги, Н.

В результате решения уравнения (3) с соответствующими граничными и начальными условиями для параметров реальной буровой штанги получена безразмерная формула для циклической частоты поперечных колебаний бурового става

$$f_n = 482,239 \cdot \frac{n^2}{l^2} \sqrt{1 - 1,042 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{n^2}{l^2}} \rightarrow n = (1, 2, \dots), \quad (4)$$

где n – порядковый номер частотной моды колебаний бурового става; l – длина става.

Для определения амплитуд колебаний бурового става буровая штанга моделируется как полый стержень круглого сечения, оба конца которого шарнирно опираются, что представляется в виде неоднородного дифференциального уравнения в частных производных

$$EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + R \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = P, \quad (5)$$

где $P=P(x,t)$ - внешнее воздействие на штангу, отнесенное к единице длины, Н/м.

Предполагая, что внешнее воздействие на штангу происходит из-за ее вибрации, которая связана со смещением оси вращения, решение дифференциального уравнения (5) при нулевых начальных и граничных условиях позволяет выписать формулу для первой гармоники в безразмерном виде и представляется как

$$\hat{y}_1 = \varepsilon^2 \frac{\sin(\varepsilon \cdot \theta) - \sin \theta}{\varepsilon^2 - 1} \sin(\pi \xi), \quad (6)$$

где $\hat{y}_1 = \pi y_1 / 4 y_0$ - безразмерная амплитуда, $\varepsilon = \omega / \omega_1$ – параметр частотной отстройки от резонанса, ω - угловая частота вибраций, y_0 - амплитуда вибраций, ω_1 угловая частота первой гармоники, $\theta = \omega_1 \cdot t$ – безразмерное время, $\xi = x/l$ – безразмерная точка, расположенная на штанге, для которой рассчитывается амплитуда.

На рис.3 представлены результаты расчета по формуле (6) в зависимости от безразмерного времени θ .



Рис.3. Зависимость колебаний первой гармоники штанги от параметра времени θ : при 1 – $\varepsilon=0,8$; 2 – $\varepsilon=0,9$; 3 – $\varepsilon=0,99$

В качестве параметра была выбрана величина ε , которая характеризует близость круговой частоты вращения буровой штанги к круговой частоте первой гармоники. При расчете было взято $\xi=0,5$, то есть расчетная точка, расположена посередине

штанги [1, 6].

Из рис. 3 видно, что при приближении частоты возбуждения к резонансу $\varepsilon=0,99$ резко возрастает амплитуда колебаний штанги, принимая нарастающий характер (кривая 3).

Анализируя графики видно, что точка 1 пересечения кривой $P_{кр}$ с $P_{\Sigma} \approx 310$ кН характеризует режим потери изгибной устойчивости бурового става длиной $l=25$ м. Но ставами такой длины в Кривбассе не бурят, поэтому проблем с потерей устойчивости нет [1, 4, 8].

Если к буровому ставу прижать упругодемпфирующие элементы, то они будут поглощать энергию его колебаний, рассеивать в виде тепла в окружающем пространстве, снижая амплитуды колебаний. Назовем эти упругодемпфирующие элементы амортизаторами изгибных колебаний (НСП) [13, 14] (патенты Украины № 67285 и №102287).

В статье также рассмотрены теоретические возможности эффективности применения данного метода снижения динамических нагрузок бурового станка [1, 2].

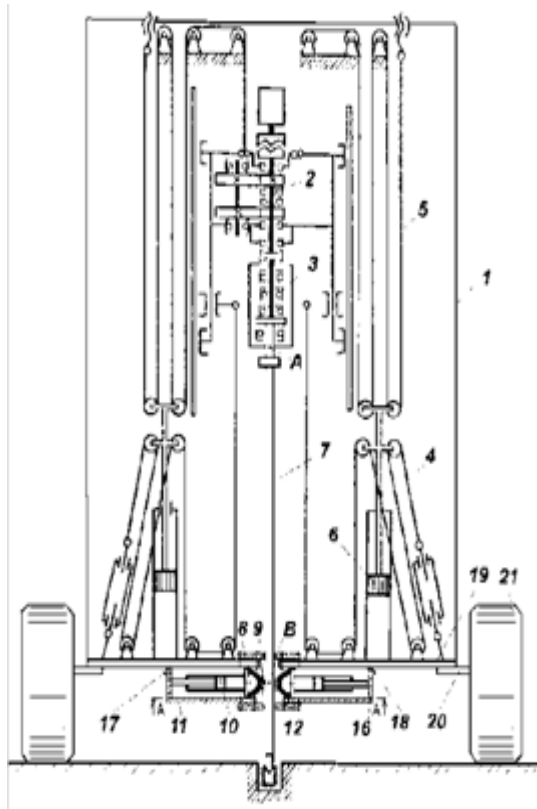


Рис. 4. Схема бурового станка с НСП: 1 – мачта; 2 – редуктор; 3 – опорный узел; 4 – механизм подачи; 5 – канат подъема; 6 – гидроцилиндр напора; 7 – буровой став; 8 – НСП; 9 – зазор; 10 – гидроцилиндр; 11 – корпус устройства; 12 – фартук от попадания шлама; 16, 17 – стойки; 18 – основа мачты; 19 – рама станка; 20 – ось механизма передвижения; 21 – гусеница

ция бурового става, м.

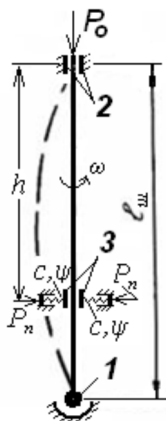


Рис. 5. Схема установки НСП на буровом ставе: 1 – долото; 2 – шпindelь вращателя; 3 – катки

Решением рассматриваемой задачи является минимизация абсолютной величины максимума поперечной вибрации, которая реализована с помощью программы Mathcad с использованием функции *Miner*

$$F(P_n, x_0, C, \xi, \hat{y}) \rightarrow \min_{P_n, x_0, C, \xi, \hat{y}} \left(\max_{t_0 \leq t \leq T} |y_1(t)| \right). \quad (8)$$

В результате минимизации (8) были получены следующие рациональные параметры системы самортизаторами изгибных колебаний, Нс/м

$$P_n = 3255 \text{ Н}, h = 8 \text{ м}, C = 250 \text{ кН}, \psi = 5000.$$

В результате расчетов с оптимальными параметрами по формуле (6) получены графики амплитуд поперечных колебаний, рис. 6.

На рис. 4 изображена схема станка шарошечного бурения с НСП, а на рис. 5 – схема установки НСП на буровом ставе.

С целью определения максимальной эффективности гашения поперечной вибрации буровой штанги выполнен выбор рациональных параметров НСП.

При исследовании функционирования бурового става принимается, что НСП контактирует с буровым ставом через катки 3 без трения (на рис. 5 катки 3 условно показаны в виде втулки). Принимаем, что верхний конец бурового става связан с вращателем через втулку 2 по скользящей посадке без трения, а нижний конец 1 – долото в виде шаровой пяты, также без учета трения.

Рациональные значения параметров НСП можно получить путем минимизации соответствующего функционала, который состоит из двух составляющих. Первая составляющая определяет первую моду, связанную с действием центробежных сил инерции, вторая составляющая определяет моду, которая вызвана угловой скоростью вращения става и смещением его оси вращения

$$y_1(x_p, t) = y_1^{(1)}(x_p, t) + y_1^{(4)}(x_p, t) \text{ при } t_0 \leq t \leq T, \quad (7)$$

где t_0 – время окончания переходного процесса работы бурового става, сек; $T - t_0$ – время, за которое оценивается вибрация бурового става, сек; x_p – точка, в которой оценивается вибра-

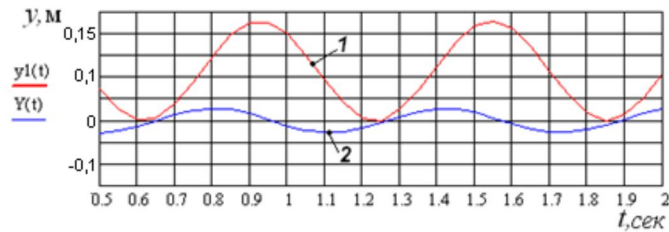


Рис. 6. Графики вибраций бурового става: 1 – без НСП; 2 – с НСП

Из рис. 6 видно, что вибрация бурового става значительно уменьшится – в 6 раз. Однако система НСП сложна по конструкции, при этом амплитуда поперечных колебаний става равна 26 мм.

Она в 1,8 раза превышает зазор между стенками скважины и штангой, это значит, что режим резонансного виброударного скобления штанги о стенку скважины не исключен.

С использованием теории скейлинга вместо НСП разработана новая система с накладными скользящими полумуфтами (НСП, рис. 8) повышенной эффективности виброгашения, патент Украины №98420 (на рис. 7, 9–11 позиции на них аналогичны).

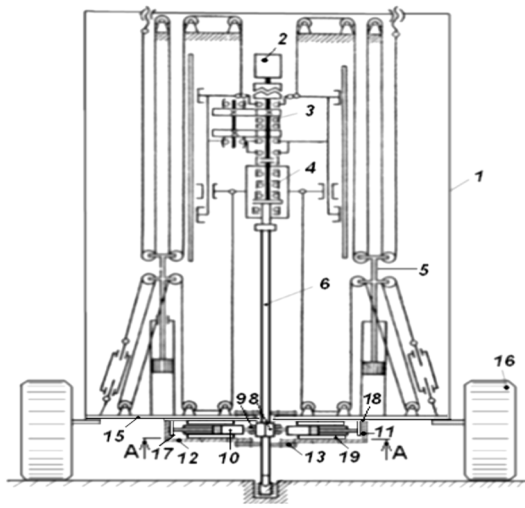


Рис. 7. Схема установки устройства НСП 8 на станке СБШ-250: поз 1 – 19 аналогичны рис. 4; 8 – НСП; 9 – толкатель; 10 – гидроцилиндр

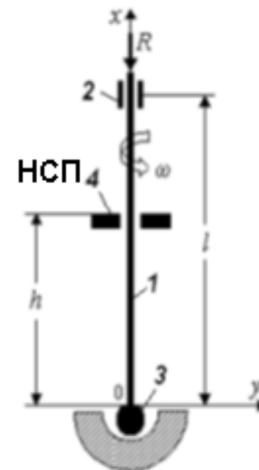


Рис. 8. Схема буровой штанги: 1 – буровой став; 2 – втулка шпинделя вращателя; 3 – долото; 4 – накладные скользящие полумуфты (НСП)

Для определения эффективности НСП рассмотрим теоретические предпосылки этого способа гашения вибрации. Математическая модель, описывающая вынужденные поперечные колебания такой буровой штанги в виде неоднородного дифференциального уравнения в частных производных представляется в формуле (5).

В результате решения уравнения (9) получена формула для расчета амплитуды первой гармоники поперечных колебаний

$$y_{1,1}(x,t) = \mu(h)\omega^2 \frac{d_1^2 + d_1d_2 + d_2^2}{3(d_1 + d_2)} \frac{1}{\omega_{1,1}^2} \hat{X}_{1,1}(x) \int_0^h \hat{X}_{1,1}(\xi) d\xi \cdot (1 - \cos \omega_{1,1}t) \quad 0 \leq x \leq h. \quad (9)$$

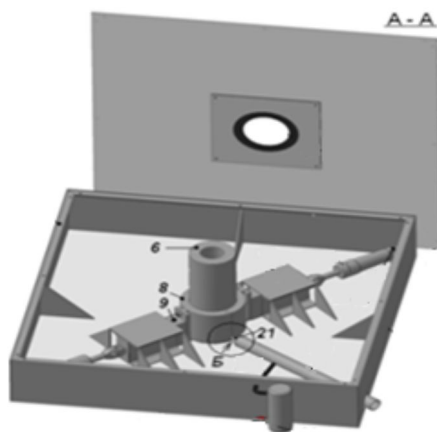


Рис. 9. Сечение по А-А, рис.7 (повернуто на 180°): 6 – буровой став, 8 – НСП, 9 – толкатель, 21 – сопло эжектора

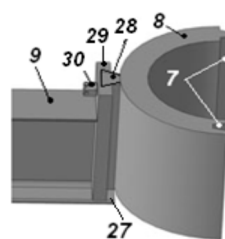


Рис. 10. Соединение НСП с толкателем 9: 7, 8 – левая полумуфта, 27 – полка-упор, 28 – «ласточкин хвост», 29 – направляющая «ласточкина хвоста», 30 – болт – стяжка

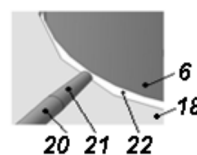


Рис. 11. Вид по стрелке Б, рис. 9 (увеличено): 6 – буровой став; 18 – НСП; 20 – эжектор; 21 – сопло; 22 – гарантированный зазор

Согласно экспериментальным данным в расчетную формулу введен поправочный коэффициент (табл. 2), определяющий зависимость амплитуд резонансных колебаний от расстояния до нижнего конца бурового става h

$$\mu(h) = -62,2386 + 17,2295h + 1,52784h^2 + 0,04375h^3. \quad (10)$$

Таблица 2

Результаты расчетов частот и амплитуд поперечных колебаний штанги для первой гармоники при разных расположениях дополнительной скользящей опоры с поправочными коэффициентами

$l, \text{ м}$	Длина бурового става, $l=16 \text{ м}$			
$l-h, \text{ м}$	0	1	4	8
$\omega, \text{ рад/сек.}$	11,83	12,6	12,6	12,6
$\omega_l, \text{ рад/сек.}$	17,27	19,8	31,67	72,76
$f_l, \text{ Гц}$	2,748	3,15	5,04	11,58
$A, \text{ м}$	0,103	0,078	0,035	0,0065

тать более простую по конструкции систему гашения поперечной вибрации бурового става, которая исключает флаттер бурового инструмента рис. 13.

В статье также описан способ ликвидации флаттера бурового инструмента за счет выбора рациональных параметров вращения бурового става [1–10, 12]. Расчетным путем выбираются параметры вращения бурового става, при которых флаттер бурового инструмента не возникает. При этом снижаются энергозатраты, а скорость бурения возрастает. На рис. 14 показано, что при числе оборотов 130 мин^{-1} в зарезонансном режиме потребление энергии снижается на 7 %. При этом скорость бурения возрастает на 15,5 % – патенты Украины №93458 и №107309 [1, 7, 15]. В данном режиме работы инструмента и повышающая скорость бурения при снижении энергозатрат.

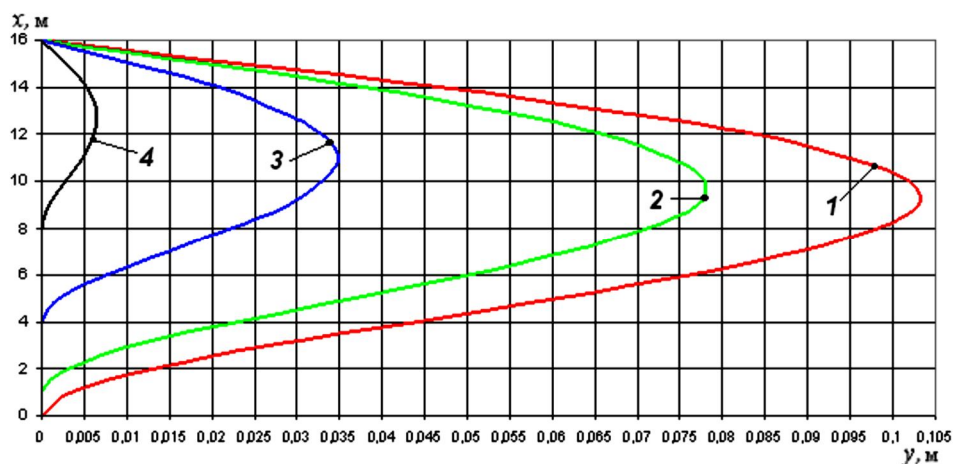


Рис. 12. Эпюры линейной динамики поперечных резонансных колебаний бурового става рассчитанные с поправочным коэффициентом, где (1 – $l-h=0 \text{ м}$, 2 – $l-h=1 \text{ м}$, 3 – $l-h=4 \text{ м}$, 4 – $l-h=8 \text{ м}$, $l-h$ – расстояние до верхнего конца штанги, м)

Таким образом, установлена частота вращения бурового става, ликвидирующая флаттер.

В статье также выполнено физическое моделирование станка шарошечного бурения. Пользуясь критериями подобия при моделировании колебаний элементов станка, разработана действующая модель бурового станка.

Принимая во внимание, что физическая модель имитирует колебания бурового става как прототипа, должны соблюдаться геометрические и кинематические условия подобия. То есть форма модели должна быть подобной форме прототипа, а направления векторов скоростей должны быть одинаковы для модели и прототипа.

$$\Pi = l - \Pi_l \quad (11)$$

Тогда синтезированная математическая модель для первой гармоники принимает вид

$$f_1^2 = \frac{\pi^2}{4l^2} \frac{EJ}{m} \left(1 - \frac{l^2}{\pi^2} \frac{R}{EJ} \right). \quad (12)$$

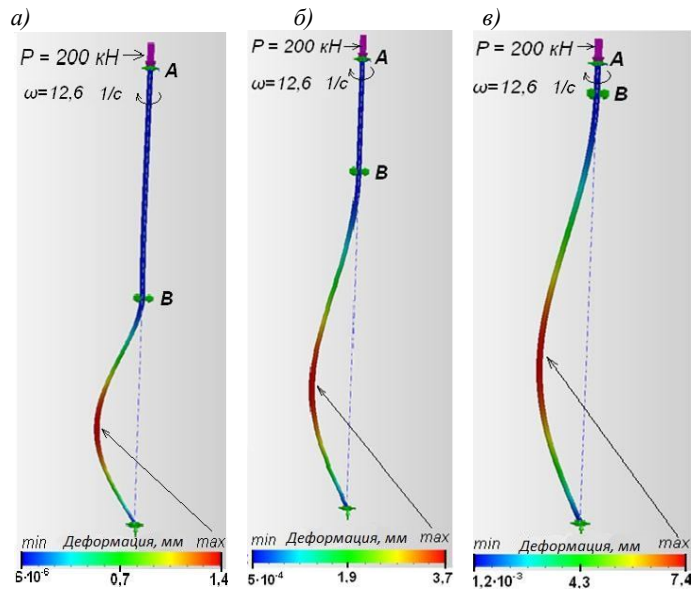


Рис. 13. Результаты исследования влияния места установки НСП на буровом стае с 2-мя штангами по $l_{ш} = 8$ м, общая длина $L = 16$ м, $\varnothing 219$, толщина стенки штанги $\delta = 51,5$ мм: а – $AB = 8$ м; б – $AB = 4$ м; в – $AB = 1$ м

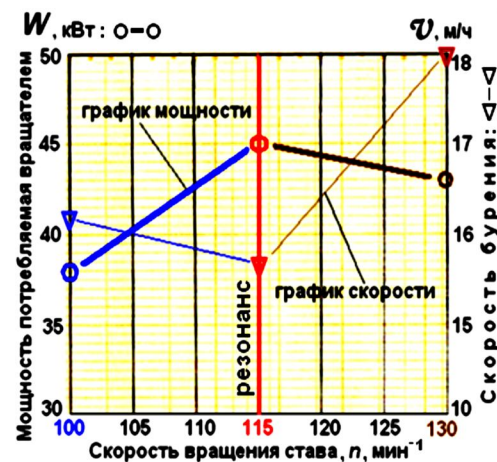


Рис. 14. Зависимость скорости бурения и энергозатрат при различных режимах вращения бурового станка флаттер бурового инструмента не возникает

Если ввести обозначения для безразмерных параметров то формула (11) примет вид

$$\Pi = \frac{4l^4 f_1^2 m}{\pi^2 n^4 EJ}, \quad \Pi_1 = \frac{l^2 R}{\pi^2 EJ}.$$

Условием физического подобия, должно быть равенство $\Pi_1^M = \Pi_1^P$,

$$\frac{(l^M)^2 R^M}{EJ^M} = \frac{(l^P)^2 R^P}{EJ^P}. \quad (13)$$

Принимая во внимание, что

$$J = \frac{\pi}{64} (d_2^4 - d_1^4), \quad m = \frac{\pi}{4} \rho (d_2^4 - d_1^4), \quad (14)$$

где d_1 , d_2 - внутренний и внешний диаметры штанги бурового стаа, м, ρ - плотность материала штанги бурового стаа, кг/м³.

Равенство (13) с учетом (14) можно записать в виде

$$\frac{64(f_1^M)^2 (l_1^M)^4 \rho^M}{E^M ((d_1^M)^2 + (d_2^M)^2)} = 1 - \frac{64(l_1^P)^2 R^P}{\pi^3 E \rho ((d_1^P)^2 + (d_2^P)^2)}. \quad (15)$$

Формула позволяет смоделировать амплитуду колебаний первой гармоники

$$y_1(x, t) = \frac{4}{3\pi} f^2 \frac{d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2}{d_1 + d_2} \cdot \frac{1}{f_1^2} \sin\left(\pi \frac{x}{l}\right) (1 - \cos 2\pi f_1 t). \quad (16)$$

Амплитуда первой гармоники, согласно (17), запишется в виде

$$A_1 = \frac{4}{3\pi} f^2 \frac{d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2}{d_1 + d_2} \cdot \frac{f^2}{f_1^2}. \quad (17)$$

Применение теории подобия и анализа размерностей к формуле (17) приводит к соотношению, выраженному в безразмерном виде

$$\Pi_A = \Pi_2 (1 - \Pi_1), \quad (18)$$

где

$$\Pi_A = \frac{4}{3\pi} \frac{d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2}{d_1 + d_2} \cdot \frac{1}{A_1}, \quad \Pi_2 = \frac{\pi^2 E}{4l^4 f_1^2 m} \frac{1}{f^2}.$$

Формула (18) дает возможность, пользуясь условием физического подобия, записать

$$\Pi_2^M = \Pi_2^P, \quad \Pi_2^A = \Pi_2^P. \quad (19)$$

Переходя к принятым обозначениям, получаем согласно (19)

$$\frac{1}{(l^M)^4} \frac{E^M \left((d_1^M)^2 + (d_2^M)^2 \right)}{(f^M)^2} = \frac{1}{(l^P)^4} \frac{E^P \left((d_1^P)^2 + (d_2^P)^2 \right)}{(f^P)^2}. \quad (20)$$

Аналогично, для второго условия (20)

$$\frac{d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2}{d_1 + d_2} \cdot \frac{1}{A_1} = \frac{3\pi^3}{128(l^P)^2} \left[1 - \frac{32(l_1^P)^2 R^P}{3\pi^3 E^P \rho^P \left((d_2^P)^2 - (d_1^P)^2 \right)} \right]. \quad (21)$$

Соотношения (13), (15), (20) и (21) дают возможность осуществить подобие между физической моделью и прототипом с целью моделирования колебаний штанги бурового става при работе бурового станка. Указанные соотношения содержат в качестве параметров переменные R^M , E^M , ρ^M , l^M , d_1^M , d_2^M , f_1^M , f^M , A_1^M . В качестве примера рассмотрим нахождение параметров для физической модели, исходя из параметров прототипа, то есть бурового става

$$R^P = 200 \text{ кН}, E^P = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}, \rho^P = 7800 \text{ кг/м}^3, l^P = 16 \text{ м}, d_1^P = 0,112 \text{ м}, \\ d_2^P = 0,215 \text{ м}, f_1^P = 1,61 \text{ Гц}, f^P = 1,83 \text{ Гц}, A_1^P = 0,139 \text{ м}.$$

Найдем величины соответствующих безразмерных параметров ($n=1$)

$$\Pi_1^P = \frac{64(l_1^P)^2 R^P}{\pi^3 E^P \left((d_1^P)^2 + (d_2^P)^2 \right)} = 0,267, \quad \Pi_P = 1 - \Pi_l^P = 0,733;$$

$$\Pi_2^P = \frac{1}{(l^P)^4} \frac{E^P \left((d_1^P)^2 + (d_2^P)^2 \right)}{(f^P)^2} = 1,368, \quad \Pi_A^P = \Pi_2^P (1 - \Pi_l^P) = 1,003.$$

Пользуясь условиями физического подобия, записываем

$$\frac{(l_1^M)^2 R^M}{E^M \left((d_2^P)^2 - (d_1^P)^2 \right)} = 0,129, \quad \frac{(f_1^M)^2 (l_1^M)^4 \rho^2}{E^M \left((d_1^M)^2 + (d_2^M)^2 \right)} = 0,113, \\ \frac{1}{(l^M)^4} \frac{E^M \left((d_1^M)^2 + (d_2^M)^2 \right)}{(f^M)^2} = 8,87, \quad \frac{(d_1^M)^2 + d_1^M d_2^M + (d_2^M)^2}{d_1^M + d_2^M} \cdot \frac{1}{A_1^M} = 2,36. \quad (22)$$

Тогда, подбирая в ходе эксперимента соответствующие геометрические размеры физической модели бурового става, условия (22) позволяют найти:

$$R^M = 572,5 \text{ Н}, \quad f_1^M = 2 \text{ Гц}, \quad A_1^M = 0,0049 \text{ м}.$$

Эти параметры использованы при разработке физической модели, проект которой передан для внедрения на ООО «Завод буровой техники ДСД».

Выводы и направление дальнейших исследований. В статье рассмотрена и решена актуальная научная задача, заключающаяся в обосновании рациональных эксплуатационных параметров оборотов бурового става станков шарошечного бурения, обеспечивающих повышение технического уровня буровых станков с канатно-полиспастным механизмом подачи бурового инструмента по критериям снижения динамических нагрузок, энергозатрат, повышения производительности бурения; в разработке способа ликвидации флаттера бурового инструмента за счет выбора рациональных режимов вращения бурового става и в разработке новых устройств для гашения поперечной вибрации буровых штанг.

Основные научные и практические результаты заключаются в том, что:

1. Анализ традиционных решений заштыбовки скважины продуктами бурения показал, что это приводит к увеличению энергозатрат и снижению скорости бурения. При этом возникает необходимость разработки новых технических решений, в том числе: ликвидации флаттера бурового инструмента с применением резонансных режимов бурения, что дает возможность

снизить энергозатраты на 7 % и увеличить скорость бурения на 15,5 %; разработки нового устройства с накладными скользящими полумуфтами НСП, которые при любом расположении на буровом стае снижают амплитуды вибрации практически в 2 раза по сравнению с зазором между стенкой скважины и буровым ставом.

2. Впервые установлена зависимость появления флаттера бурового инструмента вследствие совпадения частоты его вращения с собственной частотой поперечных колебаний бурового стаа, отличающаяся от известных тем, что на буровом стае, состоящем из 3-х восьмиметровых штанг флаттер появляется на частоте оборотов 50 мин⁻¹, на буровом стае, состоящем из 2-х восьмиметровых штанг – на частоте оборотов 113 мин⁻¹.

3. Определена возможность устойчивой работы тяжелых буровых ставов длиной до 24 м с учетом центробежной силы, возникающей от вращения изогнутого осевым усилием $P_{oc} \leq 220$ кН и числом оборотов $n \leq 120$ мин⁻¹ без появления экстремальных режимов флаттера.

4. Получила дальнейшее развитие теория колебаний бурового стаа. Впервые установлены путем математического моделирования нелинейные безразмерные зависимости частот и амплитуд поперечных собственных колебаний бурового стаа, как от параметров вращения стаа, так и от внешних возмущений, отличающиеся от известных тем, что позволяют, опираясь на теорию подобия и анализа размерностей, изучить влияние параметров не по отдельности, а в комплексе, что уменьшает объем исследований до 2-х раз.

5. Впервые с помощью математической модели описана система гашения поперечных колебаний бурового стаа, включающая накладные скользящие полумуфты, прижимаемые к ставу поперечными силами, отличающаяся от известных тем, что при наращивании на буровом стае второй восьмиметровой штанги амплитуда поперечных колебаний в процессе углубления скважины и смещения накладок к верхнему концу бурового стаа изменяется от 1,4 мм до 7,4 мм, что меньше зазора между поверхностью стаа и стенкой скважины, чем исключается режим резонансного виброударного скобления и флаттер бурового инструмента.

6. Разработана система гашения поперечных колебаний бурового стаа с амортизаторами изгибных колебаний (НСП), которая значительно (в 6 раз) снижает вибрацию бурового стаа. Однако в связи с тем, что эта система сложная по конструкции и не исключает флаттер бурового инструмента, разработана новая более эффективная система.

7. Разработан новый способ ликвидации флаттера бурового инструмента за счет выбора рациональных частот вращения бурового стаа, без специальных средств автоматизации, защищенный патентами Украины.

8. Впервые путем физического моделирования определены параметры вращения бурового стаа станка шарошечного бурения: частота оборотов – 2 Гц при усилии подачи – 572,5 Н и амплитуда поперечных колебаний бурового стаа – 4,9 мм, что позволило синтезировать систему гашения поперечных колебаний бурового стаа НСП, отличающуюся от известных тем, что данные параметры обеспечивают выбор рациональных эксплуатационных параметров вращения бурового стаа без флаттера бурового инструмента.

Список литературы

1. **Громадский В.А.** Снижение динамических нагрузок станков шарошечного бурения [монография] / Юрий Горбачев, Владислав Громадский, Виктор Громадский // LAPLAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Deutschland (Германия). – 2014. – 236 с. (ил).
2. **Громадский В.А.** Создание и исследование амортизатора изгибных колебаний бурового стаа станка шарошечного бурения СБШ-250 / В.А. Громадский, Влад.А. Громадский // Гірничий вісник : наук.-техн. збірник. – Кривий Ріг. – 2014. – Вип. 96. – С. 263–266.
3. **Громадский В.А.** Исследование влияния режимов работы на скорость бурения и энергозатраты станков шарошечного бурения типа СБШ-250 / В.А. Громадский // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М. – 2014. – №7. – С. 383–387.
4. **Громадский В.А.** Динамика вращения буровых ставов и рекомендации рациональных режимов бурения станка типа СБШ-250 / В.А. Громадский // Горное оборудование и электромеханика. – М. – 2014. – №4. – С. 17–23.
5. **Громадский В.А.** Теоретическое моделирование собственных частот поперечных колебаний буровых штанг станков шарошечного бурения / В.А. Громадский, Э.В. Серебренников // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2014. – Вип. 36. – С. 78–84.
6. **Громадский В.А.** Теоретическое определение амплитуд вынужденных поперечных колебаний буровых штанг станков шарошечного бурения / В.А. Громадский, Э.В. Серебренников // Гірничий вісник : наук.-техн. збірник. – Кривий Ріг. – 2014. – Вип. 97. – С. 260–267.

7. Gromadskiy V. Investigation of stiffness of drilling flight of roller-bit drilling mill RBDМ-250 / Gromadskiy Anatoly, Gorbachov Yuriy, Gromadskiy Viktor // Metallurgical and Mining Industry. – Dnipropetrovsk, 2015. – №7. – С. 374–377.
8. Gromadskiy V. Investigation of influence of operating regime on the productivity and energy costs of roller-bit drilling mills of RBDМ-250 / Gromadskiy Anatoly, Gorbachov Yuriy, Gromadskiy Viktor // Metallurgical and Mining Industry. – Dnipropetrovsk, 2015. – №8. – С. 556–559.
9. Громадський В.А. Разработка и исследование способа ликвидации флаттера бурового инструмента / В.А. Громадський // Горное оборудование и электромеханика. – М. – 2015. – № 1. – С. 39–41.
10. Громадський В.А. Флаттер бурового інструмента, условия появления и ликвидации экстремальных нагрузок при бурении скважин станками СБШ / В.А. Громадський // Сталій розвиток промисловості та суспільства : міжнар. наук.-техн. конф., 22–25 трав. 2012 р. : тези доп. – Кривий Ріг. – 2012. – С. 289–290.
11. Громадський В.А. Исследование устойчивости буровых ставов станков шарошечного бурения СБШ-250 в карьерах Кривбасса / В.А. Громадський // Актуальні питання проблеми створення та експлуатації технічних систем : вузівська наук.-практ. конф., 18 квіт. 2013 р. : тези доп. – Кривий Ріг. – 2013. – С. 82–87.
12. Громадський В.А. Причины появления флаттера бурового инструмента и методы его устранения на станках шарошечного бурения / В.А. Громадський // Сталій розвиток промисловості та суспільства : міжнар. наук.-техн. конф., Сталій розвиток промисловості та суспільства 2014 р. : тези доп. – Кривий Ріг. – 2014. – С. 158–159.
13. Декл. пат. № 67285 Україна, Е 21В 3/00. Верстат шарошкового буріння / Громадський В.А., Громадський Влад.А. // № 67285 Е 21В 3/00, опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19.
14. Пат. № 102287 Україна, Е 21В 3/00. Верстат шарошкового буріння / Громадський В.А., Громадський Влад.А. // опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19.
15. Декл. пат. № 93458 Україна, Е 21С 41/00. Спосіб ліквідації флаттера бурового інструменту верстатів шарошкового буріння / Громадський В.А., опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19.

Рукопись поступила в редакцию 18.04.2018

УДК 621.165:622

М.В. КІЯНОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., О.В. БОНДАР, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

КОНСТРУКТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОСТІ ВРІВНОВАЖЕНОГО ПОЛОЖЕННЯ ВАЛІВ РОТОРНИХ МАШИН В ОПОРАХ КОВЗАННЯ

Мета. Встановлено, що у процесі експлуатації роторних машин спостерігаються вібрації, викликані втратою стійкості стаціонарного руху роторів.

Методи дослідження. Проведено розрахунок оцінки стійкості валів роторних машин, через визначення функціонального зв'язку між безрозмірним коефіцієнтом навантаженості опори підшипника і параметрами стійкості та впливу частоти обертання і гнучкості ротора, частоти власних коливань гнучкого ротора. Встановлено, що особливо небезпечною робота машин є з незначним рівнем несучої здатності підшипника, так як зі збільшенням горизонтальної складової ексцентриситету, відбуваються збудження горизонтальних вібрацій, і ризик втрати стійкості стає більшим. Отже, потрібно виконати більш поглиблене дослідження основних закономірностей, що впливають на поведінку ротора та визначають закони його прецесії.

Наукова новизна. Зроблено аналіз параметрів експериментальних досліджень положення осі ротору та розглянуто графік впливу нахилу лінії центрів, коефіцієнту навантаженості опори підшипника та величини ексцентриситету осі ротора. Встановлено, що при збільшенні несучої здатності підшипника, зберігається умова забезпечення стійкості ротора, так як відбувається зменшення параметру нахилу лінії центрів, а також збільшення величини ексцентриситету, що приводить до значного зростання відцентрових сил, вібраційних навантажень і наслідком стає втрата стійкості ротора.

Практична значимість. Розглядалась задача забезпечення сталості динамічного врівноваження ротора за рахунок мінімізації відхилення осі інерції ротора (ексцентриситету) від геометричної осі підшипника в діапазонах навантаження та швидкості обертання ротора. Аналіз параметрів визначення раціональної області сталості положення ротора, приводить до висновку про неможливість зменшення рівня питомого тиску на підшипник без зміни (зменшення) експлуатаційних навантажень роторної машини. З цього витікає, що умова сталості стійкості ротора від зростання загрози автоколивань досягається при роботі машини в дорезонансній зоні.

Результати. Отже, забезпечення сталості динамічного врівноваження ротора за рахунок мінімізації відхилення осі інерції ротора (ексцентриситету) від геометричної осі підшипника в діапазонах навантаження та швидкості обертання ротора стає можливим при коригуванні (зменшенні кривизни опорної поверхні), величини відносного зазору у межах задовільної несучої здатності підшипника і мінімізації ексцентриситету осі інерції і геометричної осі ротора.

Ключові слова: ротор, гідродинаміка, змащення, коливання, рівновага, працездатності підшипника ковзання.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-112-116

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. У процесі експлуатації роторних машин (особливо великої потужності) часто спостерігаються їх вібрації, викликані втратою стійкості стаціонарного руху роторів. У більшості досліджень встановлено [1-5], що найбільш частою і серйозною причиною, що викликає втрату сталості врівноваженого обертального руху ротора є: поява самозбудних коливань від реакції змашувального (опорного) шару у підшипниках ковзання та втрата умов ламінарності потоку оливи (за критерієм Рейнольдса); відхилення осі інерції ротора від геометричної осі опори через особливості гідродинамічного режиму обертання ротора (рис. 1).

Інтенсивність коливань ротора, що самозбуджуються, може бути така велика, що їх амплітуди перевищуватимуть резонансні амплітуди роторів з великим ступенем незбалансованості [6,7]. Особливо недослідженим залишається явище несталості положення лінії центрів валу і підшипника, несталості кутів $\varphi_1, \varphi_2, \beta, e$ (параметри гідродинамічної теорії тертя, рис. 1) у працюючій опорі при збільшенні інтенсивності коливань ротора.

У теорії та практиці [8-12] оцінка стійкості валів роторних машин зводиться до визначення функціонального зв'язку між безрозмірним коефіцієнтом навантаженості опори підшипника ξ (1), що фіксує положення цапф на траєкторії рухомої рівноваги, і параметрами стійкості φ (2) та впливу частоти обертання і гнучкості ротора (відносна швидкість) γ (3), частоти власних коливань гнучкого ротора Ω (4)

$$\xi = \frac{F \psi_{ef}^2}{dl \mu_{ef} \omega}, \quad (1)$$

де F – вектор навантаження, Н; ψ_{ef} – ефективний (розрахунковий) відносний зазор у підшипнику, %; l – довжина підшипника по твірній, мм; μ_{ef} – ефективна (розрахункова) динамічна в'язкість мастильного матеріалу, Па·с; ω – кутова швидкість, рад/с;

$$\varphi = \frac{2M\omega\psi^3}{l\mu}, \quad (2)$$

де M – маса, кг; μ – динамічна в'язкість мастильного матеріалу, Па·с;

$$\gamma = \frac{\omega}{\Omega}, \quad (3)$$

$$\Omega = \sqrt{\frac{c}{M}}, \quad (4)$$

де c – питома теплоємність мастильного матеріалу, Дж/(кг·°C).

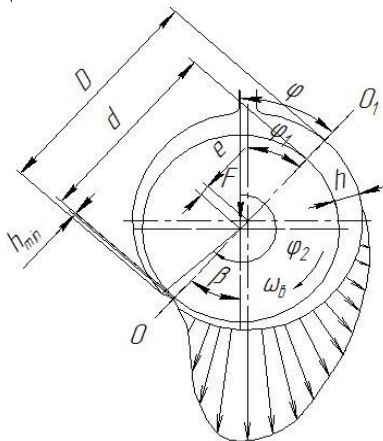


Рис.1. Відхилення осі інерції ротора від геометричної осі опори через особливості гідродинамічного режиму обертання ротора

При цьому кут врівноваженого положення вектору навантаження F і лінії центрів OO_1 (рис. 1) – β (5), ексцентриситет осі ротора e , є несталими динамічними параметрами, що вимагають стабілізації шляхом зміни режимних чи конструктивних параметрів роторної системи.

$$\beta = \arctg \frac{\int_0^{\varphi_2} \int_0^l p \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi \cdot dz}{\int_0^{\varphi_2} \int_0^l p \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi \cdot dz}, \quad (5)$$

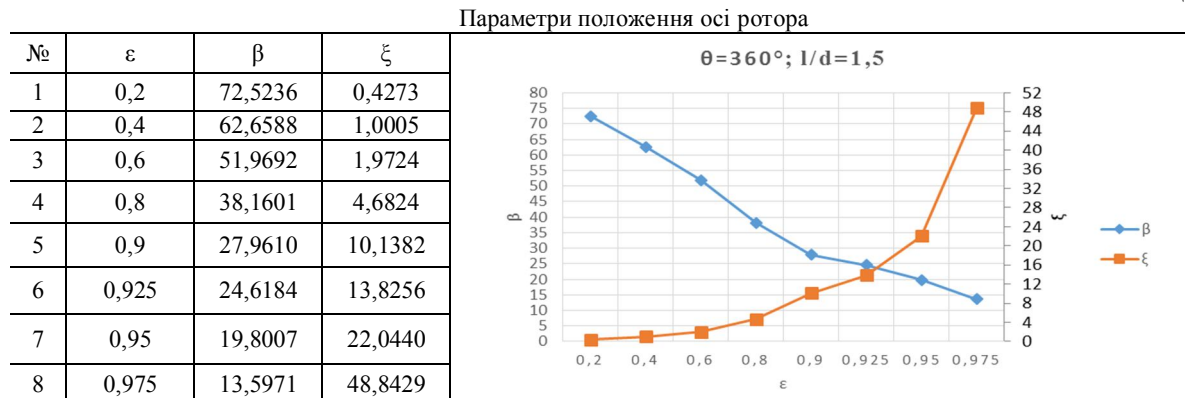
де p – величина питомого тиску на опорну поверхню підшипника від діючих навантажень; φ – кут, що визначає геометричні параметри стійкості ротора.

Особливо небезпечною робота машин є з незначним рівнем несучої здатності підшипника. У зв'язку зі збільшенням горизонтальної складової ексцентриситету, відбуваються збудження горизонтальних вібрацій, а так як в цьому напрямку жорсткість обладнання завжди менше, то ризик втрати стійкості стає більшим [13]. У цьому випадку для забезпечення нормальної експлуатації машин, запобігання серйозних аварій, що призводять до пошкодження і виходу з ладу

опор ковзання, потрібно виконати більш поглиблене дослідження основних закономірностей режимних та конструктивних факторів, що впливають на поведінку ротора та визначають закон його прецесії [14, 15].

Проаналізуємо параметри, експериментальних досліджень, положення осі ротору та розглянемо графік впливу нахилу лінії центрів β , коефіцієнту навантаженості опори підшипника ξ та величини ексцентриситету осі ротора ε . Данні представимо у вигляді табл. 1.

Таблиця 1



У цих дослідженнях встановлено, що при збільшенні несучої здатності підшипника, зберігається умова забезпечення стійкості ротора, так як відбувається зменшення параметру β – нахилу лінії центрів, а також збільшення величини ексцентриситету (особливо горизонтальної складової) – ε , що приводить до значного зростання відцентрових сил, вібраційних навантажень і наслідком стає втрата стійкості ротора.

Аналіз досліджень і публікацій. Експерименти [14] показали, що самозбуджуючі коливання, надалі такі коливання називатимуться автоколиваннями, зазвичай виникають у жорстких роторів та виявляється на частоті близької до половини величини частоти обертання, а також подвоєної першої критичної частоти обертання. У гнучких роторів – при частотах обертання, близьких до його першої критичної частоти обертання. Вказані експериментальні дані відповідають розрахунковому аналізу стійкості роторів на підшипниках ковзання рідинного тертя.

У проектно-конструкторській практиці для уникнення випадків самочинного генерування автоколивань, потрібно враховувати, який вплив на стійкість ротора мають ті або інші геометричні співвідношення підшипника ковзання та аналіз умов його роботи. Цей вплив визначається за допомогою номограми стійкості (рис.2) [15].

Постановка задачі. Забезпечення сталості динамічного врівноваження ротора за рахунок мінімізації відхилення осі інерції ротора (ексцентриситету) від геометричної осі підшипника в діапазонах навантаження та швидкості обертання ротора.

Викладення матеріалу та результати. Мінімізації відхилення осі інерції ротора (ексцентриситету) може бути досягнута зменшенням параметру β – кута нахилу лінії центрів (5).

Аналіз параметрів φ_1 , φ_2 (рис.2), що визначають величину β , приводить до висновку про неможливість зменшення рівня питомого тиску на підшипник без зміни (зменшення) експлуатаційних навантажень роторної машини. Кути φ_1 , φ_2 визначають геометричні параметри стійкості ротора, але залежать від режимних, конструкційних факторів ротора і опори (2), де показана значна ступенева залежність від величини відносного зазору, і при цьому потрібно враховувати залежність від жорсткості та пружних характеристик ротора (6)

$$\varphi = \frac{4\xi}{v_0^2}, \quad (6)$$

де ξ – коефіцієнт навантаженості підшипника (несуча здатність підшипника) (1), а v_0 (7) – відносна частота автоколивань, дорівнює

$$v_0 = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{2g}{s}} \quad (7)$$

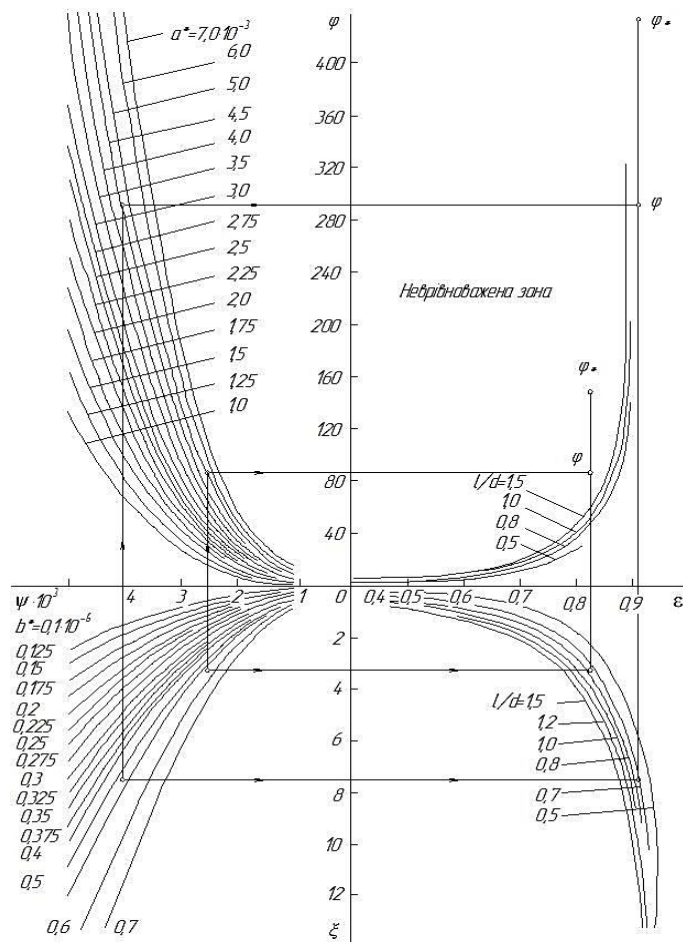


Рис.2. Параметри визначення раціональної області сталості положення ротора

напрямку дії вектору навантаження F , шляхом зменшення кривизни опорної поверхні, без загрози втрати стійкості ротора $\psi_{\text{эф}} < \psi_{\text{гран}}$ (рис.2), і зменшення β до 15-30 градусів.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Забезпечення сталості динамічного врівноваження ротора за рахунок мінімізації відхилення осі інерції ротора (ексцентриситету) від геометричної осі підшипника в діапазонах навантаження та швидкості обертання ротора стає можливим при коригуванні (зменшенні кривизни опорної поверхні), величини відносного зазору у межах задовільної несучої здатності підшипника і мінімізації ексцентриситету осі інерції і геометричної осі ротора.

Список літератури

1. **Александров А.М.** Динамика роторов / А.М.Александров, под. ред. А.И. Кобрин. - М.: МЭИ, 1995. - 132 с.
2. **Кіянновський М.В., Бондар О.В.** Дослідження впливу експлуатаційних факторів на працездатність гірничого обладнання // Вісник КТУ – Кривий Ріг, 2010. – 125-128 с.
3. **Кіянновський М.В., Бондар О.В.** Визначення величини скорочення ресурсу опор ковзання роторних машин від впливу експлуатаційних дефектів // Вісник ПолтНТУ – Полтава, 2014. – 75-81 с.
4. **Русов В.А.** Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам. - М, 2012–198 с.
5. **Komanduri R., Hou Z.B.** Analysis of heat partition and temperature distribution in sliding systems / Wear (251), 2001. – 925-938 p.
6. **Komanduri R., Hou Z.B.** Thermal analysis of dry sleeve bearings / Tribol. Int. 34, 2001. – 145-160 p.
7. Surveillance des machines par analyse des vibrations: Du depistage au diagnostic/ **Boulenger A., Pachaud C.** –2e tirage. –Paris: AFNOR, 1998. – 213 p.
8. Vibration and wear in high speed rotating machinery. –**Dordrecht** etc: Kluwer Acad., Vol. 174, 1990. -6, – 852 p.
9. Vibration dempes for cryogenic turbomachinery./ **A. Palozzolo, S. Ibrahim.** –New York, 1990. – 9 p.
10. Vibrations / **W. Bogus, Z. Dzygadło,** – Warszawa: PWN; Dordrecht et all.; Kluwer acad. publ., -13, 1992. – 488 p.
11. Wavelets for mechanical and structural damage identification/ **Staszewski W. J.** –Gdansk, 2000. – 175 p.
12. **Савин Л.А.** Исследование динамики системы "ротор-подшипники скольжения" на основе анализа траекторий движения центра цапфы / Л.А. Савин, О.В. Соломин, Д.Е. Устинов // Материалы международного научного симпозиума.- Орел: Изд-во ОрелГТУ, 2000. - с. 239 - 243.

Запобігання впливу жорсткості ротора на збудження автоколивань і початку процесу втрати стійкості ротора можна досягти використовуючи порогове значення відносної частоти автоколивань

$$v_p = 2\sqrt{\frac{\xi}{\Phi}} (v_p \rightarrow 0,5 \quad \varepsilon \rightarrow 0) \quad (8)$$

де Φ – граничне значення параметра стійкості.

З цього витікає, що умова сталості стійкості ротора від зростання загрози автоколивань досягається при роботі машини в дорезонансній зоні, а саме, $\omega < v_p$ і від зменшення відцентрових сил $F_{\text{ц}}$, що можливо лише при зменшенні ε до ε_{min}

$$F_{\text{ц}} = M_p \cdot \varepsilon \cdot \omega^2 \quad (9)$$

Отже, існує єдиний шлях забезпечення сталості динамічного врівноваження ротора за рахунок мінімізації відхилення осі інерції ротора (мінімізації ексцентриситету) від геометричної осі підшипника в діапазонах навантаження та швидкості обертання ротора, зменшення ексцентриситету ε , за рахунок локального (конструктивного) приближення зони максимального тиску оливного клина до

13. **Васильев Ю.Н.** Вибрационный контроль технического состояния газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. — М.: Недра, 1987. — 197 с.

14. **Барков А. В.** Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации: Учеб. пособие/ Барков А. В., Баркова Н. А., Азовцев А. Ю. — СПб., 2000. — 158 с.

15. **Олійник П.Б.** Перекус у звичайному підшипнику кочення обертового обладнання. // Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки: VI міжнародна наукова конференція, Київ, 26- 27 квітня 2007 р. - К., 2007. - с. 196-206.

Рукопис подано до редакції 10.04.2018

УДК 332.3.005

Ю.І. ЗАВЕРШИНСЬКА, магістрант
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННЯ В УКРАЇНІ

Мета. У зв'язку з переходом аграрного сектора країни до ринкової економіки, особливого значення набуває перехід до нової системи земельних відносин, здатних забезпечити економічне зростання сільськогосподарського виробництва при раціональному використанні насамперед – землі. Мета статті полягає у застосуванні ринкових методичних підходів з метою розрахунку вартості земельної ділянки комерційного призначення.

Методи дослідження. Дослідження ґрунтуються на загальних принципах економічного і математичного моделювання, математичної статистики, економетрики, фундаментальних і прикладних наукових розробках, які мають концептуальне значення для вирішення поставлених задач і забезпечують цілісно-системний розгляд проблем нормативної грошової оцінки земель населених пунктів.

Наукова новизна. Сучасні трансформаційні зміни, що склалася в Україні у галузі земельних відносин та галузі використання і охорони земель є критичними і вимагають змін без кінцевого розрушення існуючої системи землеустрою, шляхом реформування і створення нового розуміння сутності і форм сучасного землеустрою. Науковою новизною є аналіз нормативно-правової бази оціночної діяльності в Україні та аналіз публікацій з оцінки землі та нерухомого майна, які є актуальними на сьогоднішній день.

Практична значимість. Земля є одним із головних ресурсів життєдіяльності суспільства. Від стану залягодження земельних проблем залежить розвиток сільського господарства і організація форм господарювання сільськогосподарських підприємств. Потреба суб'єктів земельних відносин в інформації, що характеризує стан земельних ресурсів, зумовила створення державного земельного кадастру (ДЗК). Відомості про земельні ресурси, їх місце розташування та правовий режим використання встановлюються єдиною державною геоінформаційною системою відомостей про землі, розташовані в межах державного кордону України, їх цільове призначення, а також про кількісну і якісну характеристику земель, їх оцінку, розподіл між власниками і користувачами, що ведеться уповноваженим органом виконавчої влади з питань земельних ресурсів, що становить головну практичну значимість дослідження.

Результати. Сучасні способи використання земельних ресурсів в Україні не відповідають вимогам збалансованого природокористування. Цінність земель населених пунктів полягає у їх здатності приносити додатковий прибуток.

Ключові слова: оцінка, нерухомість, податок, орендна плата, закордонний досвід, ринок землі, земельні платежі, землевпорядкування.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-116-122

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сучасні трансформаційні зміни, що склалася в Україні у галузі земельних відносин та галузі використання і охорони земель є критичними і вимагають змін без кінцевого розрушення існуючої системи землеустрою, шляхом реформування і створення нового розуміння сутності і форм сучасного землеустрою. Складна ситуація в земельних відносинах та землекористуванні виникла насамперед через відсутність чіткої державної програми проведення розвитку земельних відносин та механізмів її реалізації щодо комплексного розвитку земельного законодавства, формування інвестиційно привабливого землекористування, розвитку ринку земель, проведення та фінансування землеустрою і земельного кадастру, заходів з охорони земель, фундаментальної та прикладної землевпорядної науки [1].

Зросла необхідність в ефективній системі фінансово-економічних і землевпорядних механізмів регулювання земельних відносин та землекористування, розробленні комплексного підходу з врахуванням історичних факторів у реформуванні системи державного земельного кадастру.

ру та створенні державної системи реєстрації речових прав на нерухоме майно та їх обмежень. Враховуючи, що землеустрій є основоположним механізмом управління земельними ресурсами та землекористуванням, на наш погляд його реформування і розвиток повинні розглядатися в тісному взаємозв'язку із розвитком системи управління.

Економічні зміни в Україні, що відбулися за останні роки, значно вплинули на структуру, характер та тенденції землекористування і тим самим визначили подальший розвиток державної політики у сфері управління земельними ресурсами. Невід'ємною складовою сучасного розвитку України є формування ефективної державної політики у сфері управління земельними ресурсами, спрямованої на достатній рівень екологічних і соціальних умов життя. Це потребує нових підходів до вдосконалення механізмів реалізації завдань земельної реформи, яка в нашій країні до сьогодні поки що не знайшла остаточного вирішення. Дослідження процесу управління земельними ресурсами з урахуванням всіх особливостей землекористування є вкрай важливим для стратегічного планування процесів сталого територіального розвитку [2-4].

Аналіз досліджень і публікацій. Важливою передумовою вдосконалення державно-управлінських відносин у сфері управління земельними ресурсами є їх наукове обґрунтування. Упродовж останніх років багато вітчизняних науковців зробили вагомий внесок у становлення та розвиток науки державного управління. Водночас в Україні вимагають подальшого розвитку наукові дослідження галузі державного управління земельними ресурсами. Через недостатність науково методологічних розвідок у цій сфері суттєво знижується ефективність використання та охорони земель. Науково-теоретичним підґрунтям для проведення дослідження стали праці таких учених, як: В. Авер'янов, В. Атаманчук, О. Амосов, В. Бакуменко, С. Біла, М. Білінська, В. Бодров, В. Воротін, О. Дацій, А. Дегтяр, В. Дзюндзюк, О. Іваницька, В. Ільяшенко, О. Коротич, О. Крюков, М. Латинін, Ю. Литвин, Т. Лозинська, Н. Малиш, В. Малиновський та ін.

Проте, враховуючи складність та багатоаспектність проблеми, на сьогодні наукові дослідження державної політики у сфері управління земельними ресурсами в Україні залишаються недостатньо розробленими. Більш ґрунтовного теоретико-методологічного опрацювання потребують, зокрема, такі питання:

вдосконалення земельно-орендних відносин, що сприятиме створенню привабливого інвестиційного клімату, та механізмів реалізації державної політики;

обґрунтування доцільності розробки та запровадження Схем землеустрою адміністративно-територіальних одиниць, тощо.

Для дослідження питань, поставлених на вирішення експертизи, що стосуються визначення вартості об'єктів нерухомості, експертами проводиться підбір положень нормативних і правових документів щодо можливості їх врахування при проведенні дослідження.

У постанові Пленуму Верховного Суду України від 22 грудня 1995 року №20 (зі змінами, внесеними постановою від 25 травня 1998 р. №15) «Про судову практику у справах за позовами про захист права приватної власності», зокрема, зазначено наступне:

«Вирішуючи спори про право приватної власності на майно, суди повинні виходити з того, що відповідно до ст. 13 Закону «Про власність» об'єктами права приватної власності є жилі будинки, квартири, предмети особистого користування, дачі, садові будинки, предмети домашнього господарства, продуктивна і робоча худоба, земельні ділянки, насадження на земельній ділянці, засоби виробництва, вироблена продукція, транспортні засоби, грошові кошти, акції, цінні папери, а також інше майно споживчого і виробничого призначення, набуте з передбачених законом підстав».

Розглядаючи позови, пов'язані зі спільною сумісною власністю громадян, суди повинні виходити з того, що відповідно до чинного законодавства спільною сумісною власністю є квартира (будинок), кімнати в квартирах та одноквартирних будинках, передані при приватизації з державного житлового фонду за письмовою згодою членів сім'ї наймача у їх спільну сумісну власність (ст. 8 Закону «Про приватизацію державного житлового фонду»).

В інших випадках спільна власність громадян є частковою.

Вирішуючи питання про грошові стягнення у справах за позовами про захист права приватної власності на майно, суди мають виходити з того, що: вартість спірного майна визначається за погодженням сторін, а за його відсутності – за дійсною вартістю майна на час розгляду спору. Під дійсною вартістю розуміється грошова сума, за яку майно може бути продано в даному населеному пункті чи місцевості.

Національний стандарт № 1 «Загальні засади оцінки майна й майнових прав» затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 10 вересня 2003р. №1440, містить наступні положення: поняття, що вживаються в цьому стандарті, використовуються в інших національних стандартах у значенні, встановленому цим Стандартом, зокрема [18, 19]:

ринкова вартість – вартість, за яку можливе відчуження об'єкта оцінки на ринку подібного майна на дату оцінки за угодою, укладеною між покупцем та продавцем, після проведення відповідного маркетингу за умови, що кожна із сторін діяла із знанням справи, розсудливо і без примусу;

залишкова вартість заміщення (відтворення) – вартість заміщення (відтворення) об'єкта оцінки за вирахуванням усіх видів зносу (для нерухомого майна – з урахуванням ринкової вартості земельної ділянки при її існуючому використанні (прав пов'язаних із земельною ділянкою); ...

спеціальна вартість – сума ринкової вартості та надбавки за неї, яка формується за наявності нетипової мотивації чи особливої заінтересованості потенційного покупця (користувача) в об'єкті оцінки.

До неринкових видів належать вартість заміщення, вартість відтворення, залишкова вартість заміщення (відтворення), спеціальна вартість та інші.

Отже, найбільш вірогідною дійсною (ринковою) вартістю, за якою об'єкт можливо оцінити, являється грошова сума, за яку передбачається перехід майна з рук в руки на дату оцінки в результаті комерційної операції між добровільним покупцем та добровільним продавцем після адекватного маркетингу. При цьому передбачається, що кожна із сторін діяла компетентно, обачливо і без примусу, об'єкт оцінки представлено на відкритий ринок в формі публічної оферти.

Постановка задачі. Оцінка може бути масовою та індивідуальною. Масова оцінка – це оцінка великої кількості об'єктів на конкретну дату з використанням стандартних методик та статистичного аналізу. Індивідуальна оцінка – це оцінка конкретного об'єкта на певну дату. Тому можна сказати, що масова оцінка – приблизна, а індивідуальна – точна, отримана у результаті детального аналізу реальних даних про аналоги.

На етапі «Постановка завдання та укладення договору на оцінку об'єкта»:

Ідентифікується та детально описується об'єкт, що буде оцінюватися: фіксується інформація про його місце розташування, правовий статус, відомості про склад та інші характеристики.

Визначається мета оцінки. Мета оцінки – використання висновку про оцінену вартість. Мета багато в чому визначає вид вартості, яку необхідно визначити, характер даних, що будуть використовуватися, принципи, судження та підходи, якими буде керуватися оцінювач.

Визначається вид оціночної вартості. Вид вартості обов'язково повинен відповідати меті оцінки та визначатися відповідно до законодавчих стандартів, та загальноприйнятих правил оціночної діяльності.

Встановлюється дата оцінки – календарна дата, станом на яку визначається вартість об'єкта, що оцінюється. Оцінка проводиться на підставі договору між суб'єктом оціночної діяльності – суб'єктом господарювання – та замовником оцінки або на підставі ухвали суду про призначення відповідної експертизи щодо оцінки майна. Договір на проведення оцінки майна укладається у письмовій формі та може бути двостороннім або багатостороннім. Під час укладання багатостороннього договору, крім замовника оцінки стороною договору може виступати особа-платник (якщо послуги суб'єкта оціночної діяльності оплачує інша особа, а не замовник).

На етапі «Попередній огляд та складання плану робіт» визначають, яка інформація (дані) необхідна та достатня для проведення оцінки, визначаються джерела та способи її отримання; витрати на збір та обробку необхідних даних, а також винагорода оцінювача, складається план виконання робіт щодо визначення вартості об'єкта.

Інформація про об'єкт оцінки може бути зовнішньою – характеризувати умови функціонування об'єкта оцінки у регіоні, галузі та економіці в цілому та внутрішньою – вона дає уявлення про діяльність оцінюваного об'єкта. Необхідна інформація може бути отримана з періодичних видань та іншої літератури, присвяченої ринку нерухомості, із спеціалізованих баз даних державних органів влади та органів місцевого самоврядування, від ріелторських та будівельних фірм, від інших оцінювачів. Для її отримання можуть знадобитися відповідні фахівці, відря-

дження в інші регіони, маркетингові, соціологічні та інші дослідження. Тому витрати на збір та обробку інформації можуть включати:

витрати на доступ до платних баз даних або інших джерел інформації;

витрати на відрядження, на оплату маркетингових, соціологічних та інших досліджень, на оплату послуг спеціалістів, що долучаються до процесу оцінки (залежно від обставин оцінювач може скористатися послугами юристів, бухгалтерів, будівельників, архітекторів);

витрати на підготовку матеріалів до звіту про оцінку (карти, схеми, таблиці, фотознімки).

На етапі «Збір та обробка даних» збираються дані як про сам об'єкт, що оцінюється, так і про його оточення (місце розташування, район, регіон розташування). Може знадобитися інформація про об'єкти-аналоги в інших регіонах, про ціни їх продаж, вартість будівельно-монтажних робіт як об'єкта, що оцінюється, так і аналогів; про навколишнє середовище (клімат, екологію, геологію), дані про соціальні, політичні, правові та інші фактори, що впливають на вартість об'єкта оцінки. Потім перевіряється повнота та достовірність отриманої інформації. Зібрані дані обробляються та готуються для подальшої обробки [3-7].

Наступний етап передбачає аналіз найбільш ефективного використання майна. Обґрунтовуючи вибір варіанта найкращого використання об'єкта оцінки необхідно обов'язково враховувати наступні вимоги: таке використання повинно бути максимально ефективним з усіх законодавчо дозволених варіантів, фінансово обґрунтованим та можливим бути реалізованим [16, 17].

Етап «Застосування підходів до оцінки вартості майна» включає визначення вартості об'єкта за традиційними підходами до оцінки: витратним, доходним та порівняльним. Оцінювач повинен використати (або обґрунтувати відмову від використання) наступні три підходи: витратний, доходний та порівняльний, самостійно визначаючи конкретні методи в рамках кожного з підходів. Вибір підходів визначається метою оцінки конкретного об'єкта та видом вартості, що розраховується.

Після застосування підходів проводиться узгодження отриманих результатів, після чого складається звіт про оцінку – документ, в якому міститься обґрунтований висновок оцінювача стосовно оціненої вартості нерухомості. Залежно від умов договору цей звіт може бути простим бланком, складеним за стандартною формою, або докладною письмовою доповіддю. Звіт не повинен допускати неоднозначного тлумачення або вводити в оману.

Стан розвитку ринкових відносин в населених пунктах потребує проведення нормативної грошової оцінки земель населених пунктів, як необхідної передумови функціонування орендних відносин та надходжень до бюджетів в вигляді плати за землю. Станом на 01.10.2017 р. нормативна грошова оцінка проведена в 1607 населених пунктах або 86,3% їх загальної кількості. Згідно чинного земельного законодавства грошова оцінка повинна проводитись кожні 7-10 років з відповідним плануванням фінансування заходів у бюджетах всіх рівнів [5, 14].

Не узгодженим залишається питання щодо визначення нормативної грошової оцінки земель населених пунктів. Актуальності даному питанню надає потреба в надходженнях коштів до місцевих та державних бюджетів від орендної плати та плати за землю. Їх рівень залежить від рівня грошової оцінки, яка розраховується на кожну категорію земель населених пунктів.

Населені пункти включають земельні ділянки практично всіх категорій. Проте нормативна база потребує уточнення оцінки земель сільськогосподарського призначення в межах населених пунктів. Згідно з Наказом Держкомзему, Міністерства аграрної політики України, Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України та Української академії аграрних наук «Про Порядок нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення та населених пунктів» від 27.01.2006 р. № 18/15/21/11 порядок нормативної грошової оцінки земельних ділянок сільськогосподарського призначення в межах населених пунктів аналогічний порядку оцінки відповідної категорії земель для товарного сільськогосподарського виробництва, що суперечить основному призначенню земель в населених пунктах [6-8].

Визначення таким чином нормативної грошової оцінки відповідних земельних ділянок зменшує загальну базову оцінку, оцінку земельних ділянок певних економіко-планувальних зон, що зменшує надходження до державного та місцевих бюджетів.

Потребує активізації робота по визначенню меж прибудинкових територій багатопверхових житлових будинків та включення їх до ринкового обороту.

Сучасний стан розвитку земельних відносин потребує оновлення та розробки саме земельно-порядної документації, що визначає зміни акцентів в управлінні земельними ресурсами.

Викладення матеріалу та результати. Оцінювання ґрунтується на спостереженні та аналізі даних про численні угоди з купівлі-продажу та з надання в оренду об'єктів нерухомості. Незважаючи на певну спільність рис цих угод та об'єктів, кожна угода на кожний об'єкт має свої якісні та кількісні особливості, що суттєво ускладнюють задачу дослідження. Тому її вирішення неможливе без порівняння.

Порівняння лежить в основі будь-якого оціночного судження, що спрямоване на отримання об'єктивних та обґрунтованих результатів. Вона розглядається як умова процесів суб'єктивного виміру, емпіричного узагальнення, категоризації і ідентифікації об'єктів і явищ, що дозволяє, з одного боку, уникнути волюнтаризму, а з іншого, перевіряти і відповідно коректувати припущення, на яких формується висновок про вартість.

Очевидно, що при оцінці ринкової вартості предметом порівняльного аналізу мають виступати дані, що належним чином відображають ситуацію на ринку, на якому представлена оцінювана річ. Інакше кажучи, ці дані повинні стосуватися подібних речей, тобто, тих, які здатні та можуть конкурувати з оцінюваною річчю на одному і тому ж ринку, і бути чутливими до тих змін характеристик речі та угод, що обрані як елементи порівняння [20-22].

Порівняння – це метод емпіричного дослідження, в процесі якого явища або предмети, що оцінюються, зіставляють з вже відомими, вивченими раніше, з метою визначення спільного або відмінного між ними.

Як метод пізнання, порівняння базується на двох принципах формальної логіки [22]:

принципі подібності – для порівняння будь-яких об'єктів необхідно показати, що вони мають спільні ознаки;

принципі відмінності – для порівняння подібні об'єкти повинні мати ознаки, за якими їх можна розрізнити.

Для того, щоб порівняння було плідним, воно повинне задовольняти двом основним вимогам:

порівнюватися можуть лише подібні об'єкти, між якими існує певна об'єктивна спільність; порівняння таких об'єктів має відбуватися за найважливішими, істотними ознаками.

Порівняння може здійснюватися як за кількісними, так і за якісними ознаками угод та об'єктів стосовно яких вони укладені.

Якісні ознаки – це дані, що характеризують деяку властивість або стан одиниці спостереження, а також наявність або відсутність цієї властивості у цієї одиниці. Вони засновані на дискретних і встановлених заздалегідь категоріях і дають змогу розрізнити одиниці спостереження між собою, виділяти одиниці певного виду.

Кількісні ознаки – це дані, окремі значення яких дозволяють встановити чисельну міру прояву тієї чи іншої властивості (наприклад, площа, будівельний об'єм, ціни тощо) та впорядкувати одиниці спостереження за такою мірою і, тим самим, детальніше диференціювати цю властивість [22].

Якісні та кількісні ознаки перебувають у тісному взаємозв'язку одні з одними.

Як правило, дослідження починається з виявлення якісних ознак, за якими угоди та об'єкти нерухомості, стосовно яких ці угоди укладалися, можна віднести до певного ринку, тобто назвати об'єкт спостереження. Такі якісні ознаки вважаються називними. Потім, об'єкти спостереження порівнюються за кількісними ознаками, що дозволяє для кожного об'єкту встановити його числові параметри (метричні ознаки), на підставі яких об'єкти можна розподілити на певні класи, тобто отримати нові якісні характеристики.

В результаті порівняння встановлюють те загальне, що властиве одиницям спостереження, і те особливе, що їх розрізняє, і тим самим вирішити проблему подібності об'єктів. Це особливо важливе з огляду на те, що кожний об'єкт характеризується численними та різноманітними ознаками.

Здійснення порівняння передбачає дотримання певної послідовності:

спочатку необхідно окреслити ринок, до якого належать угоди та об'єкти нерухомості, стосовно яких ці угоди укладалися, тобто виділити об'єкт спостереження;

потім встановити індивідуальні якісні та кількісні ознаки одиниць спостереження, що об'єднує чи відрізняє їх від решти ринкових одиниць;

і, нарешті, систематизувати одиниці спостереження за значущими якісними та кількісними

ознаками, тобто провести стратифікацію угод і/чи об'єктів нерухомості та виявити взаємозв'язок між цими ознаками.

Обов'язковою умовою для порівняння є порівнянність даних, що передбачає:
 єдність об'ємних, вартісних, якісних, структурних показників;
 єдність періодів часу, за які проводиться порівняння;
 однаковість ринкових умов;
 однаковість способу вимірювання (метрики) показників.

Ступінь подібності угод і/чи об'єктів нерухомості вимірюють за допомогою різних шкал вимірювання: номінальної, порядкової, інтервалів, відносин, різниць та абсолютної. Перші дві шкали застосовуються до вимірювання якісних ознак, решта шкал – до вимірювання кількісних ознак.

Для сформованих груп можуть бути обчислені міри центральної тенденції (середні арифметичні або середні розподільні) та дисперсії (коефіцієнт дисперсії або стандартне відхилення), що дозволяє скласти уявлення про типовий рівень цін на певному сегменті ринку та його динаміку і, тим самим, реалізувати два аспекти порівняння:

статичний, що застосовують для визначення рівня цін, що склався на ринку в певний момент часу;

динамічний, що використовують для вивчення динаміки цін в певний проміжок часу.

При цьому динамічне порівняння може бути синхронним, коли відслідковують зміни цін протягом однієї стадії чи циклу розвитку ринку, і асинхронним, коли порівнюють ціни, що притаманні схожим стадіям, проте в різночасних циклах ринку.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Розвиток сучасного землеустрою в Україні носить багатофункціональний характер і потребує формування відповідного інституційного середовища, відповідно до сформованого нами поняття та сутності. Землеустрій у сучасних умовах повинен бути не лише системою технічних заходів щодо перерозподілу земель, але й дієвим засобом досягнення екологічної стійкості навколишнього природного середовища в гармонійному поєднанні економічних, соціальних та естетичних інтересів суб'єктів земельних відносин. Потрібно підняти роль землеустрою і в правовому забезпеченні системи земельних відносин завдяки розробці, прийняттю і реалізації необхідних законів та нормативно-правових актів.

Список літератури

1. Методичні основи грошової оцінки земель в Україні: [навч.-метод. посібник] / Ю. Ф. Дехтяренко, М. Г. Лихогруд, Ю. М. Манцевич, Ю. М. Палеха. – К.: Профі, 2007. – 624 с.
2. Бавровська Н. М. Аналіз світового досвіду оцінки міських земель / Н. М. Бавровська // Ефективна економіка. – 2011. – № 12.
3. Бусуйок Д. В. Шляхи удосконалення законодавчого регулювання грошової оцінки земельних ділянок / Д. В. Бусуйок // Право України. – 2010. – № 3. – С. 166-173.
4. Кілочко В. М. Удосконалення грошової оцінки земель в Україні / В. М. Кілочко. – К.: ТОВ «ЦЗРУ», 2004. – 160 с.
5. Економіко-географічні аспекти формування вартості територій населених пунктів. Наукове видання / Палеха Ю. М. – К.: Профі, 2006. – 324 с.
6. Закон України «Про оцінку земель» / Відомості Верховної Ради України від 09.04.2004 р. – 2004 р., № 15, стаття 229.
7. Порядок нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення та населених пунктів / Офіційний вісник України від 26.04.2006 р. – 2006 р., № 15, с. 154, стаття 1133.
8. Постанова Кабінету Міністрів України «Про Методику нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення та населених пунктів» від 23 березня 1995 р. № 213.
9. Вікіпедія, Стрий. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Стрий> – Заголовок з екрану.
10. Винарчик Л. В. Особливості формування вартості земельних ділянок у м. Стрию / Л. В. Винарчик // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Географія. Землеустрій. Природокористування 2014. Випуск 3, с. 200-204.
11. Москаленко А. М. Формування ефективного використання сільськогосподарських земель Полісся України в ринкових умовах : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора екон. наук : спец. 08.00.06 “Економіка природокористування та охорони навколишнього середовища” / А. М. Москаленко. – К., 2015.
12. Дребот О. Аналіз сучасного стану використання земель аграрними підприємствами Рівненської області / О. Дребот, М. Височанська // Економіст. – 2015. – № 8. – С. 15-18.
13. Про схвалення Концепції розвитку сільських територій : розпорядження Кабінету Міністрів України від 23 вересня 2015 р. // Землевпорядний вісник. – 2015. – № 10. – С. 35- 37.

14. Довідник із землеустрою / за ред. Л. Я. Новаковського. – 4-те вид., перероб. і доповн. – К. : Аграр. наука, 2015. – 492 с.
15. Про охорону земель : Закон України // Офіційний вісник України. – 2003. – № 129. – С. 9 – 29.
16. Пазинич В.І, Свистун Л.А. «Оцінка об'єктів нерухомості», Київ. 2009 р. ст.346-347,80-81.
17. Кучеренко В.Р., Квач Я.П. «Оцінка бізнесу та нерухомості», Київ. 2009р., ст. 47-51.
18. Національний стандарт № 1 «Загальні засади оцінки майна і майнових прав» затверджений постановою КМУ № 1440 від 10.09.2003 р..
19. Національний стандарт № 2 «Оцінка нерухомого майна», затверджений постановою КМУ № 1442 від 28.10.2003 р..
20. Площанський Ю.Б. Стабілізація на ринку нерухомості – позитивна альтернатива стабільній депресії / Ю.Б. Площанський [Електронний ресурс].–Режим доступу: [http:// www.ukrgr.net/articles/8196.html](http://www.ukrgr.net/articles/8196.html).
21. Дехтяренко Ю.Ф., Драпиковський О.І, Іванова І. Б. Регулювання земельних відносин в місті. - К.: Основи, 1997. - 144 с.
22. Дехтяренко Ю., Лихогруд М., Манцевич Ю., Палеха Ю. «Методичні основи грошової оцінки земель в Україні», НВЦ "Профі", Київ, 2006.

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

УДК 629.113

С.В. МАКСИМОВ, О.С. МАКСИМОВА, кандидати економ. наук, доценти
Криворізький національний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ РЕМОНТНИХ ЦИКЛІВ КАР'ЄРНИХ САМОСКИДІВ НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЇХ РОБОТИ

Мета. Метою даної роботи є розробка теоретичних і методичних положень, а також організаційно-економічного механізму впровадження нормативів системи відновлення працездатності кар'єрних самоскидів гірничо-видобувних підприємств.

Методи дослідження. Для вирішення завдань визначення тривалості міжремонтних циклів використати метод оптимізації на основі функцій зміни експлуатаційних витрат, а для визначення тривалості міжремонтних періодів - метод оптимізації на основі довговічності елементів. Завдання визначення оптимальної тривалості міжремонтних циклів зводиться до знаходження таких значень кількості й тривалості міжремонтних періодів, які в межах нормативного терміну служби машини забезпечують мінімальну величину приведених витрат на виробництво одиниці продукції. Для вирішення поставлених задач використано методи техніко-економічного, методологію управління проектами, метод групового урахування аргументів, методи дослідження операцій, метод порівняльного економічного аналізу та методи перебору.

Наукова новизна. При встановленні оптимальних строків заміни елементів устаткування, формуванні ремонтних груп вирішенні задачі оптимізації структури міжремонтних циклів.

Практична значимість. Оптимізація міжремонтних періодів містить у собі визначення оптимальних періодів заміни для кожного елемента машини окремо, формування ремонтних груп елементів із близькими значеннями періодів заміни і знаходження оптимальних міжремонтних періодів для кожної ремонтної групи. Статистичний аналіз загальних закономірностей роботи агрегатів показує, що пробіги нових і після ремонту агрегатів між замінами істотно розрізняються. Нові агрегати між замінами працюють значно довше, ніж після ремонту.

Результати. Результати розрахунків показали, що оптимальною структурою міжремонтних циклів кар'єрного самоскида є структура, що передбачає періодичне проведення поточних ремонтів трьох ступенів складності. У роботі пропонується коректувати періодичність профілактичних заміни у другому міжремонтному циклі, що характеризує ступінь скорочення наробітку на відмову машини в циклі до капітального ремонту й після нього.

Ключові слова: ремонтні роботи, витрати на ремонт, ремонтні цикли, ремонтні групи, довговічність.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-122-128

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Виробниче устаткування та машини складаються з різних по своєму складу елементів, тому зношення окремих вузлів відбувається нерівномірно. Тому визначення виду ремонту та необхідності його проведення дозволяє зменшити витрати та збільшити строки експлуатації машини. Під системою ремонту розуміють сукупність технічних заходів з обслуговування та ремонту машин протягом всього строку їх використання з визначенням кількості планових ремонтів та оглядів, тривалості міжремонтних та міжоглядових періодів, визначення вартості та якості проведених заходів. Тому постає питання у визначенні оптимальної ремонтної системи, що забезпечить максимальну

(мінімальну) величину цільової функції: максимальну величину прибутку, мінімізує простоїв на ремонт, максимізує ймовірності виконання завдання, мінімізує ймовірності виникнення аварійної ситуації (катастрофи) і т.д.

Аналіз досліджень і публікацій. Основними напрямками дослідження вітчизняних науковців було визначення оптимальних параметрів системи планово-попереджувальних ремонтів (ППР) [6,7,9-11]. В цих роботах були спроби визначення оптимальної величини міжремонтних циклів та оптимального терміну служби машини [1-5,8]. Запропоновані методики дозволяють забезпечити найбільшу рентабельність використання машини, створити оптимальну систему ремонтів для всіх машин та механізмів, незалежно від їх конструкції, амортизаційних термінів служби й умов експлуатації [12,13]. Також було проведено дослідження практично на всіх підприємствах Кривбасу, де було визначено надійність гірничого устаткування [14,15].

Однак більшість дослідники, які вирішують завдання оптимізації системи ремонтів виходячи із довговічності не мають наукового обґрунтування та мають більш теоретичне ніж практичне значення. Тому виникає необхідність удосконалення даної методики.

Постановка задачі. На промислових підприємствах України експлуатується більше 2500 одиниць кар'єрних самоскидів виробництва ВАТ «БелАЗ». Основи організації технічного обслуговування й ремонту усієї лінійки кар'єрних самоскидів «БелАЗ» викладені у двох «Положеннях про технічне обслуговування, діагностування й ремонт кар'єрних самоскидів «БелАЗ». Ці «Положення» та керівництва по експлуатації та ремонту кар'єрних самоскидів «БелАЗ» носять не обов'язковий, а рекомендаційний характер і тільки частково вирішують питання ефективного функціонування машин, розширюють поле для творчості фахівців, що експлуатують цю техніку. Тому основним завданням даного дослідження є адаптація «Положення» до конкретних гірничотехнічних умов.

Викладення матеріалу та результати. Побудова оптимальної структури міжремонтного циклу передбачає визначення тривалості міжремонтних періодів і виду ремонтних робіт. У практиці організації ремонту гірничо-збагачувального устаткування основними видами ремонтних робіт є капітальні й планові ремонти різної категорії складності (ПР₁, ПР₂). Тому, надалі під оптимальною структурою міжремонтного циклу розуміється структура, що визначає кількість, складність і періодичність планових ремонтів.

Пропонована методика оптимізації структури міжремонтних циклів включає наступні етапи: встановлення характеру відмов різних елементів машини, що передбачає визначення законів розподілу наробітку на відмову;

вибір оптимальної стратегії ремонту елементів з різними законами розподілу;

відбір елементів, що включають у номенклатуру ремонтуємих;

побудова оптимальної структури міжремонтного циклу.

У цьому зв'язку, як критерій оптимальності при побудові раціональної структури міжремонтного циклу обраний мінімум питомих витрат на поточний ремонт (з урахуванням, звичайно, величини збитку, обумовленого простоями устаткування на ремонті).

Таким чином, завдання оптимізації системи ремонту елемента зводиться до знаходження міжремонтного періоду τ , що задовольняє виразу

$$Be(\tau) = \frac{M[\tau] \cdot (B_1 + z_a \cdot 3_a) + (B_2 + z_n \cdot 3_n)}{\tau} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $Be(\tau)$ - повні витрати, обумовлені витратами на ремонт елемента й збитком через простої системи; $M[\tau]$ - математичне очікування числа аварійних відмов елемента за період τ_0 (оптимальне значення τ); B_1 , B_2 - витрати на проведення аварійних і планових ремонтів (робота й вартість замінних елементів); z_a , z_n - математичне очікування тривалості відповідно аварійного й планово-попереджувального ремонту; 3_a , 3_n - величина збитку через простої устаткування відповідно на аварійному й планово-попереджувальному ремонті; τ - інтервал часу оптимізації (у нашому випадку тривалість міжремонтного періоду).

Задача досягнення оптимальної якості функціонування системи в цілому зводиться до знаходження оптимальної тривалості міжремонтного періоду для кожного елемента системи. Однак, для переважного числа технічних систем (у тому числі й для робочих машин й устаткування гірничо-збагачувальних підприємств) витрати на одночасну заміну групи елементів значно менше сумарних витрат на заміну кожного елемента групи окремо.

Таким чином, досягнення мінімальних витрат вимагає з однієї сторони, проведення профілактичних замін кожного елемента в оптимальний термін τ_0 , з іншого боку - об'єднання великої кількості елементів у групи й проведення профілактичної заміни всієї групи.

Розглянемо порядок формування ремонтних груп. Будемо користуватися досить простим й ефективним методом, сутність якого проілюструємо наступним прикладом.

Нехай у результаті оптимальних значень τ по кожному елементу системи, що складається з 15 елементів отримані результати: $\tau_{про1} = 20$; $\tau_{про2} = 10$; $\tau_{про3} = 15$; $\tau_{про4} = 30$; $\tau_{про5} = 45$; $\tau_{про6} = 90$; $\tau_{про7} = 10$; $\tau_{про8} = 50$; $\tau_{про9} = 80$; $\tau_{про10} = 5$; $\tau_{про11} = 40$; $\tau_{про12} = 5$; $\tau_{про13} = 80$; $\tau_{про14} = 30$; $\tau_{про15} = 20$.

При формуванні ремонтних груп будемо прагнути поєднувати в групи елементи з найбільш близькими значеннями τ_0 . Так, для нашого приклада доцільно вести розрахунки при наступному варіанті групування: у першу групу включаються 2, 3, 7, 10 й 12 елементи; у другу - 1, 4, 11, 14, 15 елементи; у третю - 5, 6, 8, 9 й 13 елементи.

Для отриманих у такий спосіб варіантів ремонтних груп визначаються оптимальні значення міжремонтних періодів τ шляхом вирішення наступного рівняння

$$\frac{1}{T} \left[\sum_{j=1}^{k_i} (n+1) \cdot C_{1ji} \cdot M_{ji}[\tau_i] + C_{2i} n_i \right] = 0, \quad (2)$$

де n – кількість замін i -го елемента за міжремонтний цикл, тривалістю T ; k_i - число елементів в i -ої групі; C_{1i} - вартість заміни i -ої ремонтної групи; $M_{ji}[\tau_i]$ - математичне очікування числа аварійних відмов j -го елемента i -ої групи за інтервал часу τ .

Для одержання необхідних статистичних величин потрібне проведення спеціальних досліджень по стійкості елементів устаткування. Аналіз роботи основних вузлів й агрегатів кар'єрних самоскидів, встановлення закономірностей втрат працездатності його агрегатами, законів розподілу наробітків на відмову виконаний по картках обліку роботи двигунів, агрегатів і вузлів автосамоскидів БелАЗ-75131 вантажопідйомністю 120 т, наданих цехом технологічного автотранспорту відкритого акціонерного товариства «Інгuleцький гірничо-збагачувальний комбінат».

Нами було досліджено показники надійності елементів двигуна 8РА4-185, тягового генератора ГПА-600, генератору-збудника ДК-913, тягового електродвигуна ДК-722, редуктора електромотору колеса.

Статистичний аналіз загальних закономірностей роботи агрегатів показує, що пробіги нових і після ремонту агрегатів між замінами істотно розрізняються (рис. 1, 2). Нові агрегати між замінами працюють значно довше, ніж після ремонту. Їхній пробіг перебуває в діапазоні від 50000 до 150000 км, у той час, як у відремонтованих агрегатів максимальна кількість приходить на діапазон 0-50000 км.

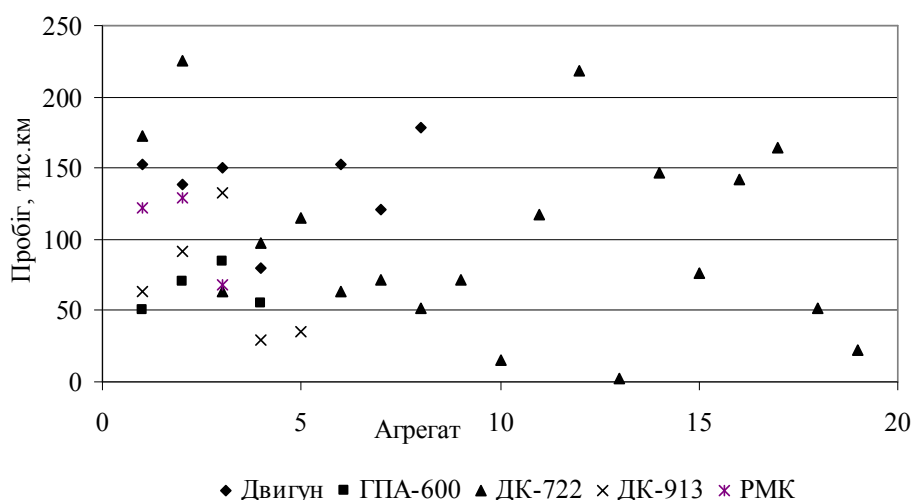


Рис.1. Пробіги нових агрегатів між замінами

Наробіток двигунів становить від 28 тис. км до 180 тис. км при середнім значенні по всіх двигунах - 123 тис. км, при цьому нові двигуни напрацьовують до заміни від 82 тис км до 180 тис км (у середньому 135 тис. км), а відремонтовані від 28 тис до 150 тис км (у середньому 81 тис км), що в 1,7 рази менше нових. Середнє внутрішньо значення вибірки після відкидання 20% екстремальних крапок практично дорівнює середньому значенню вибірки.

Нові тягові генератори ГПА-600 відробили від 55 тис. км до 88 тис. км при середньоарифметичному 67 тис. км, відремонтовані, відповідно від 3 тис. км до 80 тис. км й 23 тис. км. Половина відремонтованих ГПА-600 напрацювала не більше 18 тис. км.

19 нових й 37 після ремонту лівих і правих тягових електродвигунів ДК-722 разом відробили більше 2,6 млн км, при цьому було замінено 33 лівих й 29 правих ДК, що свідчить про специфічність трас руху даного підприємства. На противагу отриманим результатам в умовах ВАТ «Олкон» частіше з ладу виходять праві ДК [2]. У середньому новий ДК-722 до заміни працює 70 тис. км, після ремонту - близько 11 тис. км. Вибірка по нових агрегатах характеризуються середньою правобічною асиметрією ($A=0,45$), а вибірки по всіх агрегатах й агрегатам після ремонту високою правобічною асиметрією (відповідно $A=1,7$ й $A=0,7$) це пояснюється розходженням у границях інтервалів, внаслідок якого більшість (33) відремонтованих агрегатів попадає в перший інтервал сумарної вибірки.

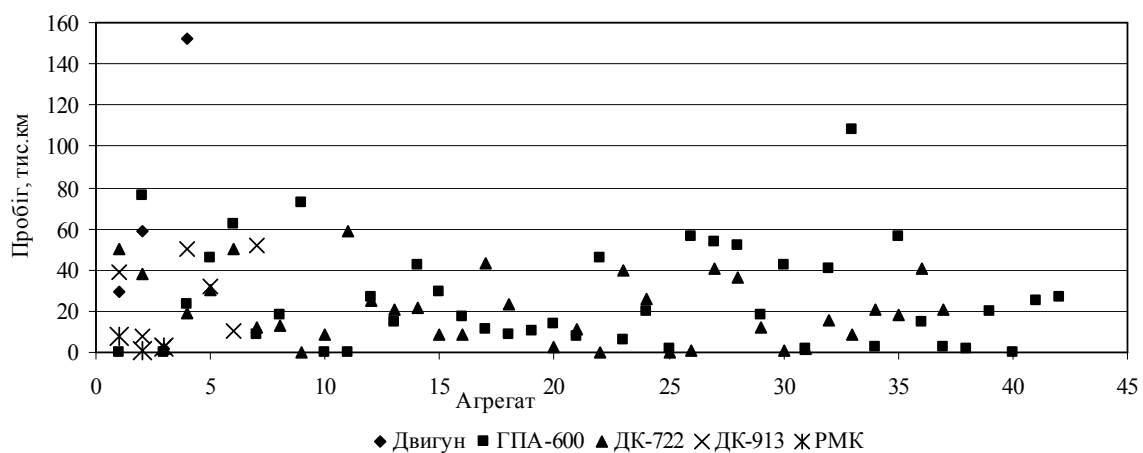


Рис.2. Пробіги агрегатів, що вийшли після ремонту між замінами

Навіть невелика кількість статистичних даних по генератору збудникові ДК-913 дозволяє судити про низьку якість ремонтних робіт. Так, нові ДК-913 у середньому напрацьовують близько 110 тис. км, а після ремонту - близько 30 тис. км. Вибірки характеризуються високою правобічною асиметрією й гостро верховим ексцесом.

За наявним даними про наробіток редукторів електромотор коліс можна сказати наступне: нові РМК стабільно відпрацьовують близько 105 тис. км, а потім вимагають заміни. Відзначені в картках РМК після ремонту відробили менш чим по 10 тис. км.

На підставі виконаних досліджень надійності роботи основних вузлів й агрегатів кар'єрного самоскида Белаз-75131 встановлювалися математичне очікування наробітку деталей на відмову й дисперсія.

Формування ремонтних груп проводилося вручну. Блок-схема визначення оптимальної структури міжремонтних циклів представлена на рис.3.

Результати розрахунків показали, що оптимальною структурою міжремонтних циклів кар'єрного самоскида є структура, що передбачає періодичне проведення поточних ремонтів трьох ступенів складності.

Результати визначення оптимальної структури міжремонтних циклів кар'єрного устаткування представлені в табл.1. При розрахунках виходили з умови, що амортизаційний період розглянутого устаткування дорівнює 8 років або 300 тис. км пробігу.

Як видно з даних табл.1, періодичність проведення поточних ремонтів у залежності від порядкового номера міжремонтного циклу зменшується, що пояснюється, в основному, зниженням надійності вузлів й агрегатів після проведення ремонтних робіт, а отже й математичному

очікуванні наробітку на відмову ряду елементів у першому й наступних міжремонтних циклах. Це зменшення обумовлене наявністю перехідного зносу в базових деталях.

Таблиця 1

Оптимальна структура міжремонтних циклів кар'єрного устаткування

Устаткування	Міжремонтний цикл	Кількість ремонтів			Періодичність проведення ремонтів, тис. год.		
		T_1	T_2	T_3	T_1	T_2	T_3
БелАЗ 75131	перший	55	5	5	5000	10000	15000
	другий	40	4	3	5000	10000	15000

У роботі пропонується коректувати періодичність профілактичних заміन у другому міжремонтному циклі коефіцієнтом k , що характеризує ступінь скорочення наробітку на відмову машини в циклі до капітального ремонту й після нього

$$k = \frac{M_i[t]}{M_1[t]}, \quad (3)$$

де $M_i[t]$, $M_1[t]$ - математичне очікування наробітку на відмову машини відповідно в i -ом і першому міжремонтних циклах.

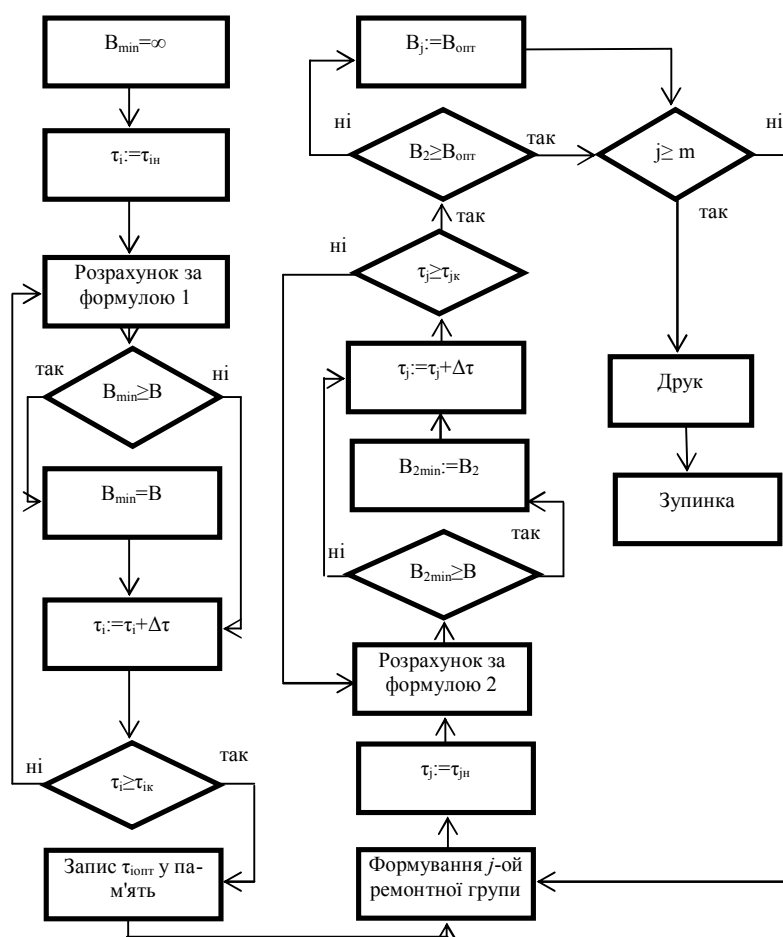


Рис.3. Блок-схема й алгоритм визначення оптимальної структури міжремонтних циклів

У цьому зв'язку періодичність проведення поточного ремонту в другому міжремонтному циклі t_{T2} буде дорівнювати

$$t_{T2} = t_{T1} \cdot k_1, \quad (4)$$

де t_1 - періодичність проведення поточного ремонту в першому міжремонтному циклі, тис. ч.; k_1 - коефіцієнт, що характеризує ступінь скорочення наробітку на відмову машини в другому міжремонтному циклі.

Значення коефіцієнта k_l склало 0,8. З обліком вищевикладеного, оптимальна структура міжремонтних циклів буде мати наступний характер (табл. 2).

Таблиця 2

Оптимальна структура міжремонтних циклів кар'єрного устаткування скорегована

Устаткування	Міжремонтний цикл	Кількість ремонтів			Періодичність проведення ремонтів, тис. год,		
		T_1	T_2	T_3	T_1	T_2	T_3
БелАЗ 75131	перший	55	5	5	5000	10000	15000
	другий	43	4	3	4000	8000	12000

Висновки та напрямки подальших досліджень. При встановленні оптимальних строків заміни елементів устаткування, формуванні ремонтних груп і вирішенні задачі оптимізації структури міжремонтних циклів необхідна інформація про довговічність елементів. Ця інформація повинна включати: математичне очікування часу наробітку на відмову й дисперсію. Статистичний аналіз загальних закономірностей роботи агрегатів показує, що пробіги нових і після ремонту агрегатів між замінами істотно розрізняються. Нові агрегати між замінами працюють значно довше, ніж після ремонту. Результати розрахунків показали, що оптимальною структурою міжремонтних циклів кар'єрного самоскида є структура, що передбачає періодичне проведення поточних ремонтів трьох ступенів складності. У роботі пропонується коректувати періодичність профілактичних замін у другому міжремонтному циклі коефіцієнтом k , що характеризує ступінь скорочення наробітку на відмову машини в циклі до капітального ремонту й після нього. Його величина дорівнює 0,8.

Список літератури

1. Астафьев Ю.П. Планирование и организация погрузочно-транспортных работ на карьерах / Ю.П.Астафьев, Г.К.Полищук, Н.И.Горлов. – М.: Недра, 1986. – 168с.
2. Бабец Е.К. Теория экономического анализа / Е.К.Бабец, Н.И.Горлов, С.А.Жуков. – Днепропетровск: Наука и образование, 2002. – 425с.
3. Бескровный Н.Т. Экономика и оптимизация надежности и ремонта горно-шахтного оборудования. – М.: Недра, 1974. – 214с.
4. Бруневская С.Б. Совершенствование организации ремонтных работ в условиях перехода к рыночным отношениям: Автореф. дис. канд. наук (08.00.05) / Моск. акад. пищ. пром. – М., 1993. – 23с.
5. Вопросы ремонта горного оборудования за рубежом: Сб. перевод. статей. – М., 1961. – 99с.
6. Горбунов Н.П. Повышение эффективности организации ремонтного производства и технического сервиса в условиях постплановой экономики (на примере специализир. предприятий): Дис. канд. наук (08.07.01) / Харьк. гос. политех. ун-т. – Х., 1999. – 228с.
7. Демченко В.Д. Теоретическое обоснование выбора экономически оптимальной системы ремонта машин: Дис. канд. экон. наук (08.00.05). – Харьков, 1972. – 182с.
8. Дідик Р.П. Технологія виробництва і ремонт гірничих машин: Підручник / Р.П.Дідик, В.М.Забара, П.М.Шипов. – 4-те вид., перерб. і доп. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 1999. – 470с.
9. Драченко В.А. Экономика ремонта карьерного оборудования / В.А.Драченко, Н.Г.Колобердян. – К.: Техніка, 1974. – 96с.
10. Ивуть Р.Б. Новые формы в организации планирования и управлении ремонтным производством в США. – Минск: БелНИИТИ, 1989. – 47с.
11. Ивуть Р.Б. Совершенствование управления ремонтным производством на предприятиях машиностроения / Под ред. А.Я.Гольбина. – Минск: Навука і техника, 1991. – 248с.
12. Колегаев Р.Н. Определение оптимальной долговечности технических систем. – М.: Советское радио, 1967.
13. Колегаев Р.Н. Экономическая оценка качества и оптимизация системы ремонта машин. – М.: Машиностроение, 1980. – 239с.
14. Рудь Ю.С. Методологические проблемы исследования надежности и эффективности фабрик окускования горно-обогатительных комбинатов / МВЦСО УССР, КГРИ. – Кривой Рог, 1987. – 20с.
15. Рудь Ю.С. Оптимизация технического обслуживания и ремонтов систем технологического оборудования горно-обогатительных.

Рукопис подано до редакції 18.04.2018

УДК 528.44

А.Ю. ПАЛАМАР*, канд. техн. наук, доц., А.В. ПОЛТАВЧЕНКО, магістрант
Криворізький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ КАДАСТРОВОЇ ОЦІНКИ ЛІСОВИХ РЕСУРСІВ

Мета. Вивчення сучасного стану земель лісогосподарського призначення України. Впродовж останніх років питання набуття земельних ділянок у користування стають дедалі актуальнішими. При цьому юристи-практики і науковці здебільшого звертають увагу на проблеми придбання земельних ділянок під забудову, які мають значну цінність як об'єкти інвестування, та проблеми набуття земельних ділянок сільськогосподарського призначення, доцільність дії мораторію на придбання яких є предметом постійних дискусій, приділяючи значно менше уваги питанням набуття і використання земель інших категорій, наприклад, земель лісогосподарського призначення, правовий режим використання яких має свої особливості.

Методи дослідження. При проведенні досліджень використовувались методи системно-структурного та порівняльного аналізу, логіки, теорії ефективного управління і комп'ютерного програмного забезпечення.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у дослідженні динаміки змін земельного фонду та структури земель лісогосподарського призначення України та Дніпропетровської області.

Практична значимість. Оскільки ліс є унікальним природним явищем, що за своїми біологічними ознаками являє собою сукупність дерев, чагарників, іншої лісової рослинності, ґрунтового покриву, що взаємопов'язані і впливають одне на одного та на навколишнє природне середовище, лісове законодавство є однією з тих складових, за якими повинні визначатися пріоритети підвищення ефективності лісових ресурсів України. Водночас цінність лісу як природного та економічного ресурсу не завжди врівноважується з результатами лісознавства та лісоексплуатації, а тому у сучасних умовах актуальним є створення ефективної системи управління земельними ресурсами лісогосподарського призначення, програми комплексного, раціонального і невиснажливого лісокористування.

Результати. Результати дослідження полягають в їх подальшому використанні центральними та територіальними органами виконавчої влади з питань земельних ресурсів з метою ведення державного земельного кадастру в частині функціонування кадастру земель лісогосподарського призначення.

Ключові слова: кадастрові роботи, лісогосподарське використання, лісовий кодекс України, цінність лісу, раціональне використання, земельне законодавство.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-128-133

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Державний земельний кадастр є базовою територіальною основою для ведення інших кадастрів природних ресурсів, в тому числі і державного лісового кадастру. Тому формування бази даних державного земельного кадастру в частині основних його складових, щодо земель лісогосподарського призначення є невпорядкованою до цього часу задачею.

Зіткнувшись на практиці з питаннями використання земель лісогосподарського призначення, стає зрозумілим, наскільки проблемним і неоднозначним є їх правовий режим та недосконалим законодавство, яке його регулює. Використання лісових ресурсів на землях лісогосподарського призначення посідає щільне місце у лісових та земельних відносинах, адже завдяки використанню реалізується функція держави щодо забезпечення суспільства деревиною та іншими не менш важливими лісовими ресурсами. Це має велике значення як для економіки держави, так і для забезпечення соціальних потреб суспільства. Тому важливого значення сьогодні набуває збереження лісових ресурсів, адже загибель деревини означає значні втрати для економіки.

Аналіз досліджень і публікацій. Висвітлення різних аспектів економічної оцінки земель лісогосподарського призначення є предметом багатьох наукових досліджень, зокрема природно-ресурсний потенціал лісових ресурсів досліджували такі вчені як: Дорогунцов С.І., Коваль Я.В., Лицур І.М., Фурдичко О.І.; над економічною оцінкою природних ресурсів працювали: Гофман К.Г., Минц А.А., Хачатуров Т.С., Федоренко Н.П. та відповідно над економічною оцінкою лісових ресурсів: Анцукевич О.Н., Васильєв П.В., Канторович Л.В.; економічну оцінку лісових земель розробляли: Позивайло Ю.Н., Фурдичко О.І., Артюшок К.А. та інші. Питання використання земель лісогосподарського призначення досліджували такі науковці, як Ю.С. Хавар, О. П. Чопник, І. М. Синякевич, Ю. Ю. Туниця. Саме в наукових дослідженнях цих вчених обґрунтовано теоретико-методологічні засади ефективного використання та збереження земель лісогосподарського призначення. Однак критичний аналіз літературних джерел свід-

чить, що на сьогодні недостатня увага приділяється саме еколого-економічній оцінці земель лісогосподарського призначення.

Постановка задачі. В умовах ринкових відносин вибір найбільш ефективних шляхів розвитку лісового господарства неможливий без еколого-економічної оцінки земельних та лісових ресурсів. Загалом така оцінка повинна розпочатися із оцінки земель лісогосподарського призначення. Так, згідно зі ст. 55 Земельного кодексу України (далі – ЗКУ) до земель лісогосподарського призначення належать землі, вкриті лісовою рослинністю, а також не вкриті лісовою рослинністю, нелісові землі, які надані та використовуються для потреб лісового господарства. У ч. 1 ст. 5 Лісового кодексу України (далі – ЛКУ) дано ширше визначення поняття «землі лісогосподарського призначення як лісові землі, на яких розташовані лісові ділянки, та нелісові землі, зайняті сільськогосподарськими угіддями, водами й болотами, спорудами, комунікаціями, малопродуктивними землями тощо, які надані в установленому порядку та використовуються для потреб лісового господарства» [1]. Крім того ЛКУ визначає земельні лісові ділянки як земельні ділянки лісового фонду України з визначеними межами, які надаються або вилучаються у землекористувача чи власника земельної ділянки для ведення лісового господарства або інших суспільних потреб відповідно до земельного законодавства. Лісовий фонд – це усі ліси на території України, незалежно від того, на землях яких категорій за основним цільовим призначенням вони зростають, та незалежно від права власності на них. У свою чергу, нелісові землі – це ділянки, зайняті сільськогосподарськими угіддями, водами й болотами, спорудами, комунікаціями, малопродуктивними землями тощо, які надані в установленому порядку та використовуються для потреб лісового господарства [2].

Враховуючи таку різноманітність земель, які відповідно до вказаних норм ЛКУ та ЗКУ можуть входити до категорії земель лісогосподарського призначення, віднести конкретну земельну ділянку до цієї категорії можливо лише при дослідженні матеріалів лісовпорядкування, планово-картографічних матеріалів земельної ділянки з описом меж та експлікацією угідь, аерофотозйомку і матеріали звітності за формою 6-зем [3-5].

Викладення матеріалу та результати. Згідно із ст. 1 Земельного кодексу України (ЗКУ) – земля це основне національне багатство, яке відіграє ключове значення в сучасній економіці так як використовується для задоволення всіх потреб громадян: виробництва продукції, послуг, розселення населення, відпочинку, тощо. Сукупність всіх земель у межах території України, острови, а також землі під водними об'єктами, незалежно від їх цільового призначення та функціонального використання, становлять земельний фонд країни [7].

Всі землі за основним цільовим призначенням поділяють на категорії на основі природних ознак, соціально-економічних та виробничих характеристик щодо їх використання, а також з врахуванням мети забезпечення відповідних потреб суспільства. Правовий режим кожної категорії земель є певною сукупністю правових норм, що регулюють земельні правовідносини щодо використання та їх охорони.

Ліс – екологічна система, переважну частину якої складають дерева і чагарники. Це поняття можна розглядати в двох аспектах. В глобальному – це частина біосфери, в локальному – закриті екологічні масиви, в яких усі компоненти, такі як: ґрунт, трав'яна рослинність, тваринний світ та мікроорганізми взаємопов'язані і впливають один на одного. Ліси займають приблизно третину поверхні суші Землі або 38 млн км², з них 264 млн га або 7% створені людиною [1].

Згідно із ст. 55 ЗКУ до земель лісогосподарського призначення належать землі, вкриті лісовою рослинністю, а також не вкриті лісовою рослинністю, нелісові землі, які надані та використовуються для потреб лісового господарства [17].

Державний лісовий кадастр на території України ведеться з метою ефективної організації охорони і захисту лісів, раціонального використання лісового фонду України, відтворення лісів, здійснення систематичного контролю за якісними і кількісними змінами лісів [6].

Державний лісовий кадастр ведеться на основі державного земельного кадастру.

Державний лісовий кадастр створюється і ведеться з метою:

гарантування державою права користування лісовими ділянками;

інформаційного забезпечення органів державної влади та органів місцевого самоврядування, зацікавлених юридичних та фізичних осіб при регулюванні відносин, організації раціонального використання та охорони земель;

обліку цінності землі у складі природних ресурсів та її вартості як засобу виробництва в сільському і лісовому господарстві та як просторового базису в суспільному виробництві;
встановлення обґрунтованих розмірів платежів за землю;
контроль за використанням і охороною земель;
іншої діяльності пов'язаної з володінням, користуванням і розпорядженням земельними ділянками.

Державний лісовий кадастр призначений для забезпечення органів державної влади, органів місцевого самоврядування, зацікавлених підприємств, установ, організацій і громадян достовірною та об'єктивною інформацією щодо природного, господарського стану та правового режиму використання лісового фонду України.

До земель лісогосподарського призначення належать землі, вкриті лісовою рослинністю, а також не вкриті лісовою рослинністю, нелісові землі, які надані та використовуються для потреб лісового господарства.

До земель лісогосподарського призначення не належать землі, зайняті:

зеленими насадженнями у межах населених пунктів, які не віднесено до категорії лісів;

полезахисними лісовими смугами, захисними насадженнями на смугах відводу залізниць, захисними насадженнями на смугах відводу автомобільних доріг, захисними насадженнями на смугах відводу каналів, гідротехнічних споруд та водних об'єктів;

окремими деревами і групами дерев, чагарниками несільськогосподарських угідь, присадібних, дачних і садових ділянках.

Головними лісокористувачами, які займаються веденням лісового господарства в межах Дніпропетровської області на землях лісового фонду є Дніпропетровське обласне управління лісового та мисливського господарства.

Станом на 01.01.2017 р. загальна площа земель лісового фонду Дніпропетровської області складає 192,4 тис. га, у т.ч.: вкриті лісовою рослинністю землі на площі 164,4 тис. га. Лісистість області складає 5,1 %. Приріст на одному гектарі вкритих лісовою рослинністю земель становить 4,4 м³ (при 3,7 м³ в середньому по Україні), з них щорічно заготовлюється біля 1,6 куб.м./га, або 36 % [7].

Таблиця 1

Землі лісогосподарського призначення

Категорія земель	Одиниця виміру	Кількість
Загальна площа земель лісогосподарського призначення	тис. га	192,4
у тому числі:		
площа земель лісогосподарського призначення державних лісогосподарських підприємств	тис. га	113,03
площа земель лісогосподарського призначення комунальних лісогосподарських підприємств	тис. га	-
площа земель лісогосподарського призначення, що не надана у користування	га	-
площа земель лісогосподарського призначення, що вкрита лісовою рослинністю	тис. га	164,4
лісистість (відношення покритої лісом площі до загальної площі регіону)	%	5,1

У 2008 році на території Новомосковського військлісгоспу створено мін смуг 3848 км, на протипожежні заходи витрачено 132012 грн., на лісозахисні роботи витрачено 1552 грн., в основному на біологічні способи боротьби із шкідниками (виготовлено, відремонтовано та розвішано 450 шт. шпаківень) [8, 9].

У 2008 році ДООУЛМГ вжито заходи з боротьби із рудим та звичайним пильщиком на площі 3193 га, створено мін смуг 8839 км, проведено догляд мін смуг на площі 22858 км, влаштовано протипожежних розривів 2 км.

Для обчислення економічної оцінки лісових земель потрібно визначити замикаючі витрати (кадастрові ціни) Z_p (грн.), визначаються по формулах (1-8)

$$Z_{p1} = Z_m + B_{pl} + B_{z3};$$

$$Z_p = B_{mp} + B_{z3} + B_{cv} + Z_{p1}, \quad (1)$$

де Z_m – річна зміна запасу, м³; B_{pl} – річні витрати на ведення лісового господарства, грн., що для відповідного регіону становить 104 грн.; B_{z3} – витрати на 1 м³ зміни запасу; B_{mp} – витрати на транспорт (49% від Z_{p1}); B_{z3} – витрати на заготівлю деревини (36,9% від Z_{p1}); B_{cv} – витрати на лісовирощування (14,1% від Z_{p1})

$$Z_m = (M_k - M_n) / (S \cdot n), \quad (2)$$

де M_k , M_n – запас деревини на кінець і початок ревізійного періоду m^3 , що становить $M_k - 34 m^3$, а $M_n - 28 m^3$; S – площа покритих лісом земель, 4 га; n – число років в між ревізійному періоді. Розрахунки виконувались за період одного року.

Витрати на $1 m^3$ зміни запасу визначаються по формулі

$$B_{zz} = Z_m / B_{pl} \quad (3)$$

Цінність природного ресурсу $Ц_{np}$ обчислюється по формулі

$$Ц_{np} = Z_p - B_{pl} \quad (4)$$

За формулою Гофмана К.Г. оцінка лісу, як єдиного цілого

$$R = (M \cdot r \cdot (1+E)t) / ((1+E)T - 1), \quad (5)$$

де R – сумарна рента, грн.; M – запас деревини у віці рубки, m^3 .

$$M = (M_k + M_n) / 2 \quad (6)$$

r – рента, грн.; T – вік рубки, рівний віку економічної стиглості, що становить 52 роки; t – фактичний вік деревостану, що становить 50 років; E – норматив приведення (0,02).

При оцінці лісових земель використовується диференціальна рента. Рента реалізується через проміжки часу, що дорівнюють оборотів рубки T , який буде різним для різних порід. Тому потрібно ренту привести до однакового початкового часу. Це виконується за допомогою коефіцієнта дисконтування

$$\alpha = 1 / (1+E)T. \quad (7)$$

Рента обчислюється по формулі

$$r = (Z_p \cdot K_{np} - B_{pl}) \cdot \alpha, \quad (8)$$

де K_{np} – коефіцієнт якості лісових насаджень (0,95).

В таблиці 2 представлені розрахунки економічної оцінка лісової продукції та лісових земель, в результаті чого була визначена кадастрова ціна лісової продукції та цінність природного ресурсу, а також сумарна рента лісу, як єдиного цілого [10].

Таблиця 2

Розрахунок економічної оцінки земель лісового використання

M	Z_m	B_{zz}	Z_{p1}	B_{mp}	B_{zo}	B_{ce}	Z_p	$Ц_{np}$	$(1+E)T$	$(1+E)t$	α	r	R
31	1,5	0,01	105,51	51,7	38,93	14,88	211,02	107,02	2,80033	2,69159	0,36	34,73	1609,62

За породним складом в лісах області переважають шпилькові лісоутворюючі породи:

ялина європейська (52%) та ялиця біла – (5%);

із листяних лісоутворюючих порід найбільша частка припадає на бук лісовий (22%) і дуб звичайний (11%).

Сучасний стан лісів області значною мірою обумовлений минулою їх багаторічною експлуатацією. Головним наслідком попереднього нерационального ведення лісового господарства області є глибока зміна вікової структури лісів, що привела до значного їх омолодження, послаблення їхніх водоохоронних, водорегулюючих та ґрунтозахисних функцій. На великих площах корінні мішані деревостани замінені монокультурами ялини [11]. Почастішали стихійні явища (вітровали, інвазії шкідників і грибні епіфітотії) у шпилькових монокультурах.

За цей же період проходив процес оптимізації вікової структури деревостанів. Так, у 1978 році молодняки I, II класу віку становили 48,7 % вкритої лісом площі, середньовікові насадження – 33,2 %, пристигаючі – 10,5 %, стиглі та перестійні – 7,7 % [12].

У 1988 році молодняки становили 42,8 %, середньовікові насадження – 38,1 %, пристигаючі – 10,9 %, стиглі та перестійні – 8,2 % вкритої лісом площі.

За період з 1978 по 2008 роки загальна площа земель лісового фонду області збільшилась на 2,6 тис. га (0,5 %). За цей же період загальна площа вкритих лісом земель зросла на 12,6 тис. га (2,3 %). Площа вкритих лісом земель у 1978 році становила 89,2 % від загальної площі лісів, у 2008 році – 91,7 %.

У 1996 році ліси державного значення були представлені на 55 % природними деревостанами, на 45 % – штучними. В порівнянні з 1956 роком питома вага штучних насаджень збільшилась майже вдвічі (з 23,9 % до 45 %). За цей період площа шпилькових деревостанів знизилась з 73,1 до 64,0 %, площа твердолистяних зросла з 25,5 до 34,3 %, м'яко листяних – з 1,4 до 1,8 %.

Якщо у 1956 році шпилькові ліси державного значення області були представлені на 43,9 % молодняками, на 15,4 % – середньовіковими, на 17,0 % – пристигаючими, на 23,7 % – стиглими деревостанами, то на кінець 1996 року питома вага молодняків зросла до 53,0 % (на 9,1 %), середньовікових насаджень – до 27,5 % (на 12,1 %), а площа пристигаючих лісів зменшилась на 5,2 %, стиглих зменшилась на 16,1 %.

За цей же період площа стиглих твердолистяних деревостанів зменшилась з 14,7 % до 5,9 %, площа стиглих м'яко листяних зросла з 9,8 % до 15,3 %.

Структура лісів в межах вікової групи Дніпропетровської області представлена в табл. 3.

Згідно даних регіонального моніторингу лісів за період 1996-2008 рр., загальна площа земель лісового фонду Дніпропетровською областю у основних лісокористувачів залишилась практично без змін [14].

За період 1996-2008 рр. пройшли суттєві зміни вікової структури лісів Дніпропетровської області. Площа молодняків зменшилась з 206,1 тис. га до 114,1 тис. га на 92 тис. га (44,5 %). Площа середньовікових деревостанів зросла з 244,2 тис. га до 317,8 тис. га, або на 73,6 тис. га (30,2 %).

Площа пристигаючих насаджень збільшилась з 61,0 тис. га до 71,7 тис. га, або на 10,7 тис. га (18,2 %). Площа стиглих і перестійних деревостанів збільшилась з 40,5 тис. га до 65,1 тис. га, або на 24,6 тис. га (на 60,7 %). Площа стиглих та перестійних деревостанів в період 2007 – 2008 рр. по обласному управлінню лісового та мисливського господарства збільшилась на 5,5 тис. га або 2 %.

Таблиця 3

Структура лісів в межах вікових груп [12, 13]

Користувачі	Групи віку	1996 га / %	2007 тис. га / %	2008 тис. га / %
Дніпропетровське обласне управління лісового господарства	молодняки середньовікові пристигаючі стиглі	161012 /37,4 188123 /43,8 48134 /11,2 32631 /7,6	85,3/20 237,3/55 57,1/14 49,1/11	82,8 /19 232,8 /54 57,9 /14 54,6 /13
Всього:		429960 /100	428,8/100	428,8 /100
ОП «Криворізький лісгосп»	молодняки середньовікові пристигаючі стиглі	26730 /36,1 34326 /46,3 9038 /12,2 3987 /5,4	20,1/29 38,5/55 8,3/12 3,1/4	20,1 /29 38,4 /55 8,3 /12 3,2 /4
Всього:		74081 /100	70,0/100	70,0 /100
Інші лісокористувачі	молодняки середньовікові пристигаючі стиглі	18315 /34,0 27710 /51,4 3801 /7,1 4074 /7,4	11,6/17 44,1/62 6,5/9 8,6/12	11,2 /16 46,9 /66 5,7 /8 7,4/10
Всього:		53900 /100	70,8/100	70,6 /100
Разом по області	молодняки середньовікові пристигаючі стиглі	206057 /36,9 244159 /43,7 60973 /10,9 40502 /8,5	117,0/21 319,8/56 72,0/13 60,8/10	114,2 /20 318,1 /56 71,9 /13 65,2 /11
Всього:		557941 /100	569,6/100	569,4 /100

За 1996–2008 рр. запаси деревини в лісах державного значення зросли на 9,1 млн куб.м.

В цілому по області запаси лісів за період 1996-2008 рр. збільшилась з 136,9 млн м³ до 158,8 млн м³, або на 21,2 млн м³ (на 15,9 %).

Висновки та напрямки подальших досліджень. В даній роботі була проведена економічна оцінка лісової продукції та лісових земель, в результаті чого була визначена кадастрова ціна лісової продукції та цінність природного ресурсу, а також сумарна рента лісу, як єдиного цілого [15, 16].

Список літератури

1. Лісовий кодекс України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3852-12>.
2. Про ліси сільськогосподарських підприємств: наказ Міністерства аграрної політики України № 106/60 від 26.06.2000 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.rada.gov.ua/laws>.
3. Сохнич А. Я. Методологічні засади інформаційного забезпечення державного земельного кадастру / А. Я.

Сохнич // Землеустрій і кадастр. – 2004. – № 3-4. – С. 34 – 40.

4. **Чепков Б. М.** Удосконалення державної статистичної звітності з кількісного обліку земель / Чепков Б. М., Паночко М. М. // Землеустрій і кадастр. – 2004. – № 1-2. – С. 37 – 44.

5. Облік земельних ресурсів як передумова ефективного земельного адміністрування [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/19746/1/12-57-61.pdf> – Заголовок з екрана.

6. Інвентаризація лісів – статус кво в Україні, досвід Німеччини та рекомендації від FAO [Електронний ресурс] https://www.lisportal.org.ua/wp-content/uploads/2017/08/APD_APR_06-2017_Forest_Inventories_ukr.pdf – Заголовок з екрана.

7. Земельний фонд України станом на 1 січня 2016 року [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://land.gov.ua/info/zemelnyi-fond-ukrainy-stanom-na-1-sichnia-2016-roku-ta-dynamika-ioho-zmin-u-porivnianni-z-danyu-na-1-sichnia-2015-roku/> – Заголовок з екрана.

8. Організаційно-технічне забезпечення функціонування кадастру земель лісгосподарського призначення / Автореферат до дис. роботи. Хавар Ю. С. – Львів, 2012.

9. Постанова Кабінету міністрів України «Про затвердження такс на деревину лісових порід, що відпускається на пні, і на живицю» від 20 січня 1997 р. № 44.

10. Австрія та Німеччина допоможуть Україні «порахувати» ліси [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2133743-avstria-ta-nimeccina-dopomozut-ukraini-porahuvati-lisi.html> – Заголовок з екрана.

11. Удосконалення нормативної бази обліку лісів і земель: розробка пропозицій щодо удосконалення системи ведення державного лісового кадастру [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=129179&cat_id=81209. – Заголовок з екрана.

12. Постанова Кабінету міністрів України «Про затвердження правил відтворення лісів» від 1 березня 2007 р. № 303.

13. Постанова Кабінету міністрів України «Про врегулювання питань щодо спеціального використання лісових ресурсів» від 23 травня 2007 р. № 761.

14. Постанова Кабінету міністрів України «Про затвердження Порядку поділу лісів на категорії та виділення особливо захищених лісових ділянок» від 16 травня 2007 р. № 733.

15. Земля як засіб виробництва і просторовий базис розвитку суспільства [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ibib.ltd.ua/zemlya-kak-sredstvo-proizvodstva-24971.html> – Заголовок з екрана.

16. Ліс [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Лес> – Заголовок з екрана.

17. Земельний кодекс України / Відомості Верховної ради України від 25.01.2002. – 2002 р., № 3 – 4, ст. 27.

Рукопис подано до редакції 17.04.2018

УДК 629.314

І.В. ГІРІН, ст. викладач, Криворізький національний університет

МОЖЛИВОСТІ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ АВТОРИНКУ УКРАЇНИ

Мета. Метою роботи є комплексне дослідження сталого стану ринку електромобільного транспорту з зазначенням проблем, які потрібно вирішити для інфраструктурного напрямку розвитку вітчизняного ринку електрокарів, внаслідок чого електричні автомобілі складуть повноцінну конкуренцію традиційним машинам з ДВС в Україні.

Методи дослідження. У роботі виконано аналітичні дослідження з використанням вітчизняних статистичних показників стосовно подальших перспектив розвитку електромобільного транспорту. Використано комплексний підхід, що включає узагальнення і аналіз літературних джерел і досліджень в галузі автомобільного транспорту.

Наукова новизна. Наукову цінність представляє аналітичне оцінювання темпів зростання ринку сучасного електромобільного транспорту та виявлення основних сегментів та технічних напрямків для подальшого підвищення складового рівня цього виду рухомого складу в загальній долі автотранспорту України.

Практична значимість. Дослідження, проведені в даній роботі, дають можливість встановити основні чинники, усунення яких дозволить підвищити рівень екологічної безпеки автотранспорту за рахунок масового використання електромобілів в дорожньому русі. В роботі встановлена динаміка залежності швидкості поширення електротранспорту й розвитку цього виду автотранспорту від покращення технічних і експлуатаційних характеристик електромобілів, що дозволить суттєво вплинути на прискорення розвитку електромобільного транспорту та на покращення стану екологічної безпеки навколишнього середовища завдяки зменшенню негативних факторів впливу дорожнього руху.

Результати. Виконано порівняльний аналіз впливу рівня технічних компонентів електромобілів і традиційних автомобілів на стан автомобільного ринку. Узагальнено результати порівняльних характеристик компонентів та технічних можливостей електрокарів в порівнянні із звичайними авто. Дано порівняльну оцінку найбільш поширених на внутрішньому ринку електромобілів в залежності від рівня їх екологічної безпеки для довкілля. Відзначено, які конструктивні рішення сучасних серійних електромобілів створюють найбільшу загрозу рівню дорожньої безпеки. Розглянуті можливі напрямки досліджень, впровадження результатів яких дозволило б досягти підвищення рівня екологічної безпеки електрокарів.

Ключові слова: електромобільний транспорт, екологічність, ринок електрокарів, зарядні станції, тарифи на зарядку.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-133-139

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями Сьогодні історія електромобілів вийшла на новий виток свого розвитку. Люди зрозуміли, що екологічність - це те, що необхідно в 21 столітті. Ресурси нафти в світі не безмежні і багато інженерів і винахідників працюють над питанням вдосконалення електродвигуна. І це не дивно, адже на це є маса причин. Через економічну кризу, подорожчання бензину і нафти багато людей стали замислюватися над тим, чи варто купувати звичний для нас автомобіль, або є сенс заощадити і придбати екологічно небезпечну автівку. Враховуючи нинішній стан речей з енергоносіями, наша держава також зацікавлена, щоб в Україні було більше електротранспорту, що створить енергетична незалежність, екологічне благополуччя і економічна вигода. Електромобілі вигідні не тільки споживачам, але і державі загалом.

Аналіз досліджень і публікацій. Країни Європи, Китай і Індія стимулюють своїх громадян купувати електромобілі, видаючи гранти і знижуючи податки. Франція і Великобританія планують повністю перейти на електрокари до 2040 року. У Сполученому Королівстві з усього числа машин поки 5% електрокарів. Щоб збільшити кількість "зелених" авто, уряд надає британцям грант на покупку електромобіля у 35% від вартості машини і звільняє від податку на власність. У Франції електрокарів більше 100 тис., або 1,2% всього ринку. Покупцям "зелених" авто уряд компенсує 10 тисяч євро. Прагнення перейти на електромобілі в Індії пояснюють високим рівнем забруднення повітря. За даними Greenpeace, в країні через викиди щорічно вмирають 2,3 млн людей. Індія планує заборонити продаж нових авто на бензині і дизелі до 2030 року. Уряд має намір субсидіювати покупку електрокарів два-три роки, поки машини не стануть доступними. Нідерланди перейдуть на електрокари до 2025 року. Замість уряду людей стимулюють купувати електромобілі місцева влада. Покупця електрокара звільняють від податку на реєстрацію і податку на власність. Німеччина і зовсім пропонує ЄС узаконити заборону на рівні Союзу з 2030 го. Поки країна ввела стимули для покупки електрокарів: звільнення на 10 років від податку на власність, грант на покупку "зеленої" машини в 4000 євро і низькі відсотки по кредиту. За вагою електрокарів в світі лідирує Норвегія. Кожен третій автомобіль в країні - електричний. Екологічні авто тут не обкладаються 25% ПДВ і податком на автомобіль, також власник електромобіля платить знижений дорожній збір. В 2025 році Норвегія максимально підвищить обмеження викидів вуглекислого газу автомобілями до 0%, тим самим заборонить авто з ДВЗ. Автовиробники через постійне посилення екологічних вимог до автомобілів з ДВЗ самі почали орієнтуватися на виробництво гібридних та електромобілів. Наприклад, Volvo оголосила, що до 2019 року у всіх нових автомобілів буде акумулятор і електродвигун. Mercedes, Audi і Volkswagen також не відстають в гонці з виробництва електричних автомобілів.

Постановка завдання. Незважаючи на всі переваги електрокарів, у них існує дві, але дуже суттєві проблеми, які заважають їм конкурувати в теперішній час зі звичайними автівками і буквально заповнити авторинок. І це - той самий акумулятор, запас ходу якого в теплу пору року у Leaf становить лише близько 130-150 км. Взимку ця цифра опускається до 80-90 км (на морозі падає ємність акумулятора), що унеможливує поїздки навіть на середні дистанції. При цьому потрібно враховувати, що, якщо традиційні АЗС у нас буквально на кожному кроці, навіть між населеними пунктами, то заправок для електрокарів сьогодні в Україні налічується лише близько 900 на всю країну - карти їх розташування є у вільному доступі в інтернет-мережі. Точну кількість експерти визначити не беруться, оскільки їх обладнання та кількість постійно змінюється. Тож в Україні в теперішній час перш ніж планувати поїздку на електрокарі, потрібно ретельно спланувати свій маршрут через заправки, адже якщо на трасі закінчиться заряд, допомогти зможе тільки евакуатор. Крім того, практично зник ще один стимул - безкоштовна зарядка електрокарів. А на готельних зарядних станціях анонсували вже такий тариф, що зникає взагалі економічний сенс в експлуатації електрокара, в порівнянні з ДВЗ. Для порівняння - сьогодні в ЄС є близько 100 000 пунктів зарядки для електричних транспортних засобів. А до 2025 року їх буде потрібно, щонайменше, два мільйони, згідно самим стриманим

оцінками Європейської комісії. Це означає, що протягом найближчих семи років має бути, як мінімум, двадцятикратне збільшення числа зарядних станцій.

Викладення матеріалу та результати. На теперішній час автовиробники через постійне посилення екологічних вимог до автомобілів з ДВЗ та зростання цін на енергоносії самі почали орієнтуватися на виробництво гібридних та електромобілів. Наприклад, Volvo оголосила, що до 2019 року у всіх нових автомобілів буде акумулятор і електродвигун. Mercedes, Audi і Volkswagen також не відстають в гонці з виробництва електричних автомобілів.

Показники зростання кількості автомобілів у світі за останні 5 років наведені у таблиці, динаміка відсоткового вмісту електромобілів у світі по роках з 2013 по 2017 представлена на рис. 1.

Таблиця

Кількість електромобілів(без гібридів) і звичайних авто у світі за останні 5 років

Рік	2013	2014	2015	2016	2017
Електромобілів (без гібридів)	240 тис	400 тис	740 тис	750 тис	1098 тис
Загальна кількість автомобілів з ДВЗ	899 млн	948 млн	982 млн	999 млн	1 млрд 198 млн

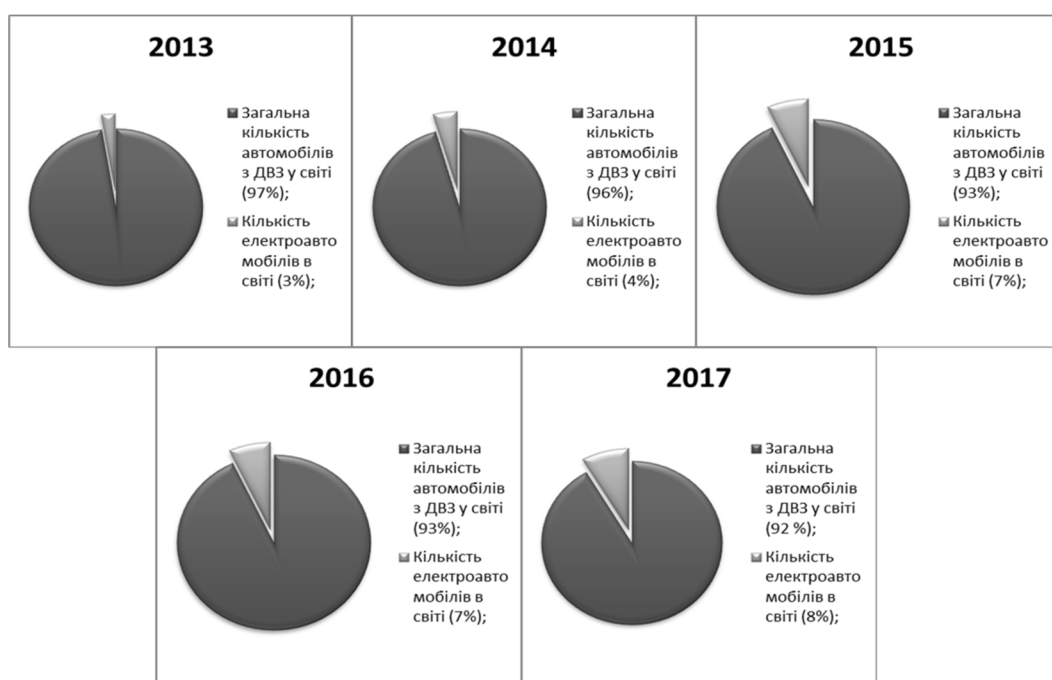


Рис.1. Відсотковий вміст електромобілів у світі за останні 5 років

Україна за темпами зростання ринку електрокарів знаходиться на досить високих місцях у Європі. Це дуже позитивний факт, з урахуванням того, що в середньому ціна рідкого палива за 2018 рік у світі може піднятися на 15-18%, що позначиться і на вітчизняному ринку. У цих умовах "виживання" багато автоаматорів, навіть вельми скептично налаштованих, почали поглядати в бік електрокарів. Тим більше, що в нашій країні нещодавно було знято ПДВ та акциз на розмитнення електрокарів. Так, з 1 січня 2018-го до 1 січня 2019 року, згідно Законопроекту №6776-д, ввозити електромобілі в Україну можна безкоштовно, сплативши лише вартість самого авто - б/у або нового - в салоні за кордоном. Для порівняння, ПДВ на будь-який інший автомобіль становить 20% від його вартості і 109 євро. Варто зазначити, що такі пільги поширюються тільки на повністю електричні двигуни: гібриди оподатковуються, як і авто з ДВЗ. Саме тому по дорогах України їздить вже майже 4 тисячі таких машин, а Україна входить у 5-ку країн-лідерів з розвитку електромобілів.

За перше півріччя 2018 року в Україні було зареєстровано тисячу сімсот вісімдесят вісім автомобілів з електричним приводом, що на 7% більше, ніж за аналогічний період минулого року. Після спаду в першому кварталі, коли вперше за тривалий період ринок показав негатив-

ну динаміку, другий квартал - навпаки, показав рекордну цифру в 1173 автомобіля (+91% до першого кварталу і +26% до минулорічних показників).

Очолує рейтинг уподобань українців Nissan, який, незважаючи на спад кількості реєстрацій залишається лідером - охоплює 62% ринку. Майже втричі поліпшили свої результати Tesla і BMW: +167% і +202% зростання відповідно (у порівнянні з першим півріччям 2017). На четверте місце потрапив Renault ZOE - 94 шт. - 5% ринку, а замикає ТОП-5 ринку електромобілів в Україні Mercedes-Benz - 54 шт. - 3% ринку. З п'ятірки вилетів Ford, який утримував друге місце в першому півріччі 2017 року. Порівняльні показники реєстраційних даних за марками електрокарів в Україні наведені на рис. 2 та рис. 3.

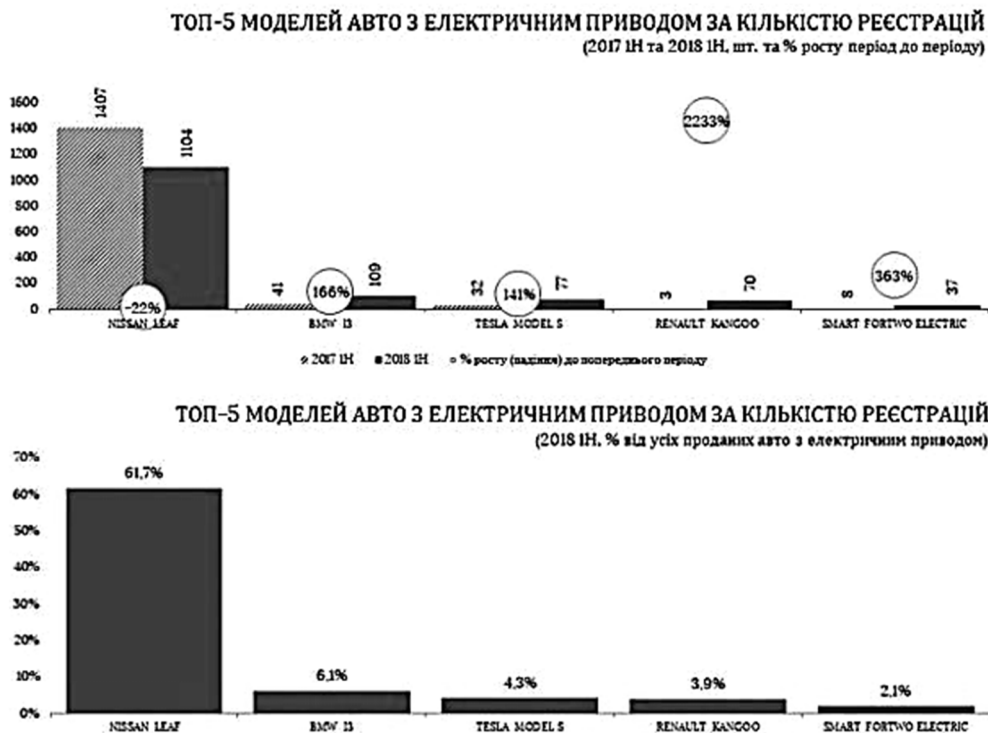


Рис.2. Порівняльні показники реєстраційних даних за марками електрокарів в Україні

До переваг сучасних марок електричок слід віднести наведені нижче.

1. Водіння електрокара відрізняється простотою. Тут є лише кнопка старту, замість коробки передач – редуктор, а електричний підсилювач керма встановлено майже на всіх моделях.

2. Гальмус електрокар значно швидше, що пов'язано з функцією рекуперації: перетворення кінетичної енергії в електричну. Втім, таке гальмування дає змогу значно заощадити на гальмівних колодках, які у електрокарів зношуються значно повільніше.

3. Максимальна швидкість у найпопулярнішого в світі Nissan Leaf і в Україні складе 140-150 км/год. Виняток становить Tesla Model S, яка розганяється до 250 км/год. Середня ж швидкість, рекомендована виробником, - до 100 км/год.

За місткістю і комфортом електрокари не відрізняються від авто з ДВЗ, а ось на ТО можна істотно заощадити: річне ТО із заміною вугільних фільтрів складе 1200-1500 грн. Для порівняння, при ТО для машини з ДВЗ - виллється мінімум в 2400-3000 грн. Якщо говорити про обслуговування, то прості деталі в електромобілі може замінити і звичайний автослюсар, але перевірку акумулятора (основного агрегату електрокара) краще проводити на спеціалізованому СТО, яких в нашій країні стає все більше. Решта поломок у електрокарів незначна і трапляються вони рідше, ніж у колег з ДВЗ.

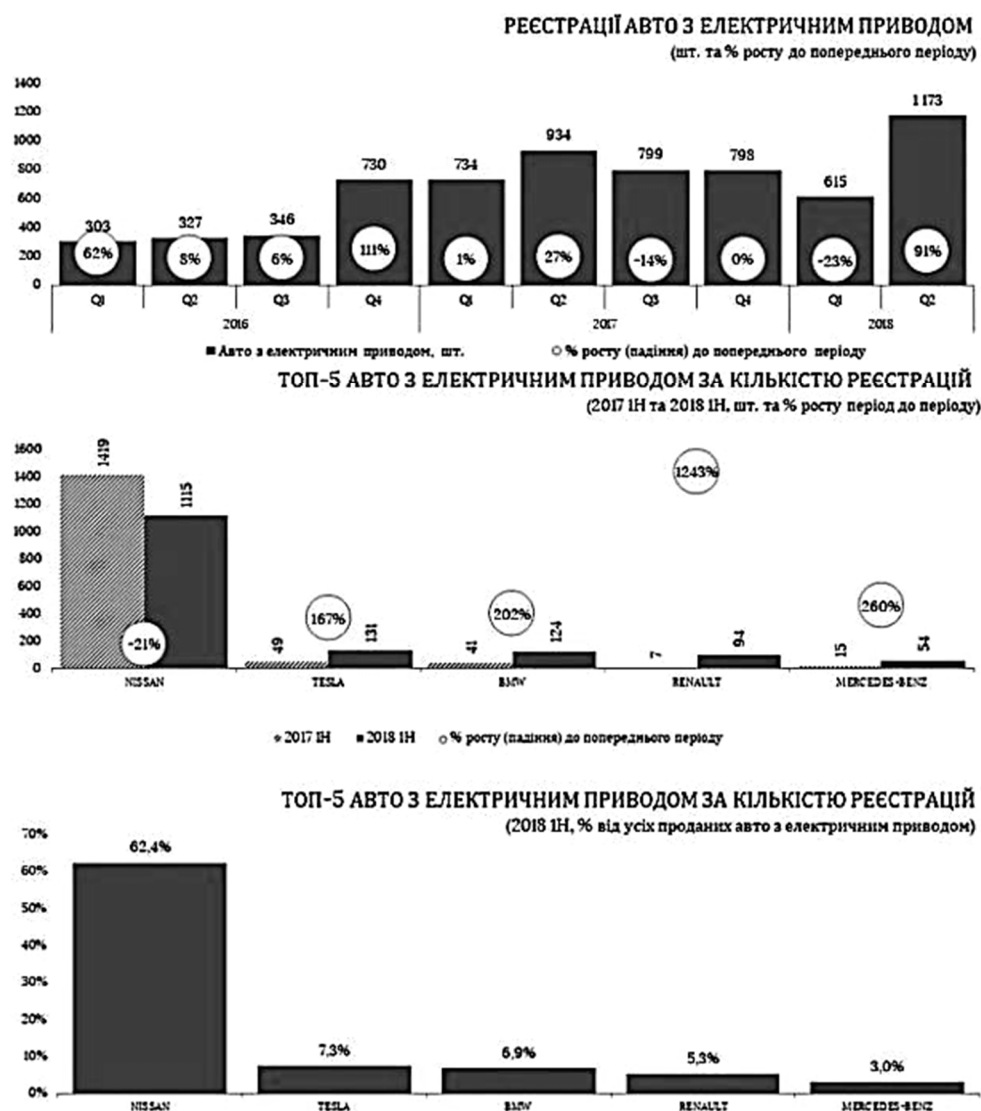


Рис. 3. Порівняльні показники реєстраційних даних ТОП -5 брендів електрокарів в Україні

Результати недавнього дослідження Європейської асоціації автомобільних виробників (АСЕА) показують, що з усіх пунктів зарядки, існуючих в ЄС сьогодні, 76% зосереджені всього в чотирьох країнах, які охоплюють тільки 27% загальної площі ЄС (Нідерланди, Німеччина, Франція і Великобританія). А, наприклад, така величезна країна, як Румунія, налічує лише 114 пунктів зарядки або 0,1% від загального обсягу ЄС. Стимулювати попит на електромобілі зі значним пробігом і одночасно вирішувати проблему нестачі зарядних станцій оригінальним чином мають намір в Китаї. Уряд планує скоротити дотації виробникам тих електрокарів, які пробігають від однієї зарядки менше 300 км. У КНР впевнені, що автовиробники повинні прагнути до впровадження інновацій, а не покладатися на фіскальну політику, щоб стимулювати попит на автомобілі на альтернативних видах енергії. Завдяки субсидіям підключаються гібриди і електромобілі стали більш доступними для китайських споживачів. Це дозволило Китаю випередити США і стати найбільшим ринком електромобілів. За даними міністерства промисловості і інформатизації КНР, уряд витратив торік 6,64 млрд юанів (\$ 1 млрд) на стимулювання придбання споживачами «зелених» автомобілів. У той же час, в рамках нових нормативів, які вступили в чинність 12 лютого 2018 року, Китай збільшив розмір субсидії для електромобілів з пробігом від одного заряду 400 км і більше до 50000 юанів (\$ 7521). Адже чим більше пробіг у електрокара, тим менше потрібно зарядних станцій.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Тож, якщо в нашій країні не вирішити проблему недостатньої кількості станцій заправки електричок і не встановити реальні тарифи

на звичайну та швидкісну зарядку електрокарів, це створить великі перешкоди на шляху розвитку цього виду транспорту. І без цього істотний мінус електричок - швидкість заправки. Так, якщо на заправку звичайним паливом йде від 5 до 15 хв., то на електричну зарядку в самому "швидкісному" режимі доведеться витратити близько години (мінімум 30-50 хв.), а правильна, рекомендована виробниками зарядка займе від 4 до 8 год.

Ще одна перешкода розвитку ринку електричок в Україні, яка в країнах ЄС поки не виникає – невизначеність з утилізацією акумуляторні батареї електрокарів. За статистичними показниками, у багатьох з них в нашій країні скоро закінчиться життєвий цикл. І що буде з самими старими електромобілями? Чи захочуть їх власники купувати нові батареї, які коштують недешево?

Незважаючи на такі досить суттєві мінуси в експлуатації електрокарів, число їх прихильників росте з кожним днем. Пов'язано це, перш за все з тим, що заправити до повного "бака" батарею електрички (24 кВт) обійдеться в 70 грн, в той час як 40-літровий бак аналогічного авто з ДВЗ коштуватиме близько 1200 грн. Газовий аналог, нехай і дешевше - близько 600 грн, але з 70 грн не зрівняється.

Список літератури

1. **Khaligh A.** Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plugin hybrid electric vehicles: State of the art / A. Khaligh, Z. Li // IEEE transactions on Vehicular Technology. – 2010. – Т. 59. – №. 6. – С. 2806–2814.
2. <https://www.segodnya.ua/economics/avto/litry-vs-vatty-vse-plyusy-i-minusy-elektrokarov-1105778.htm>
3. <http://www.autoconsulting.com.ua/article.php?sid=41857>
4. **Young K.** Electric vehicle battery technologies / K. Young // Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks. – Springer New York, 2013. – С. 15–56.
5. **Флоренцев С.Н.** Экономичный экологичный городской гибридный автобус / С.Н. Флоренцев // Электронные компоненты. – 2008. – №. 12. – С. 24–39.
6. **Гнатюк А.В.** Ретроспектива основних етапів розвитку електромобілів. Частина 2 / А.В. Гнатюк, Щ.В. Аргун // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2016. – Вып. 78. – С. 116–124.
7. <https://www.autocentre.ua/avtopravo/pdd-i-bezopasnost/ukrainskim-vladeltsam-elektromobilej-poobeshhali-bonus-351327.html>
8. **Howell D.** Annual progress report for energy storage R&D, Vehicle Technologies Program, Energy Efficiency and Renewable Energy / D. Howell // US Department of Energy, Washington, DC. – 2010.
9. **Graham-Rowe** Duncan Charge a battery in just six minutes. / Матеріали сайту. – 2017. – Режим доступу: <https://www.newscientist.com/article/dn7081-charge-a-battery-in-just-six-minutes/>.
10. **Каневский Л.С.** Деграция литийионного аккумулятора и методы борьбы с ней / Л.С. Каневский, В.С. Дубасова // Электрохимия. – 2005. – Т. 41, №1. – С. 3–19.
11. <https://electrocars.ua>
12. <https://3dnews.ru/819787>
13. **Оспанбеков Б.К.** Оптимизация ресурсопределяющих эксплуатационных режимов тяговых аккумуляторных батарей электромобилей: дисс. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Оспанбеков Бауржан Кенесович. – М., 2017. – 170 с.
14. <https://www.autocentre.ua/ua/avtopravo/avtobiznes/dlya-elektromobilej-razrabotayut-osobyie-pravila-bezopasnosti-110579.html>
15. <http://www.nfpa.org/Public-Education/By-topic/Property-type-and-vehicles/Vehicles>
16. <https://geektimes.ru/post/223843/>
17. **Лебедева А. С., Табачникова Е. В.** К вопросу об экологической безопасности на автомобильном транспорте // Научное обозрение: теория и практика. – 2014. – № 3. – С. 41–45.
18. **Жук А.З., Клейменов Б.В., Фортов В.Е., Шейндлин А.Е.** Электромобиль на алюминиевом топливе. — М: Наука, 2012. — 171 с.
19. Форсаж 7 [Электронный ресурс]: многопредмет. авто. журн. / Киев. – Электрон. журн. – 2016. – Режим доступа: <http://zhurnul.milt.riss.ru/http://forsage7.com.ua/blog/plusi-i-minusi-elektromobilej/>
20. 1. <http://news.infocar.ua>
21. Германия раздает бонусы на электромобили. — Сайт, посвященный новостям в сфере высоких технологий, а также инноваций в мире интернета, автопромышленности. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://innotechnews.com/innovations/910-germaniya-razdaet-bonusy-na-elektromobili>

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

УДК 622.271.33«37»: 622.013

С.А. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., С.А. ЛУЦЕНКО, канд. техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КАРЬЕРА НА ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗРАБОТКИ

Цель. Усовершенствовать научно-методическую базу в области проектирования и планирования открытых горных работ путем разработки новых и корректировки существующих методов определения производительности карьера по руде, которые должны учитывать взаимосвязь режима горных работ и производительности карьера по руде, исходя из условия обеспечения нормативного объема готовых к выемке запасов.

Методы исследования. При определении производительности карьера по руде необходимо учитывать влияние взаимосвязи режима горных работ и производительности, исходя из условия обеспечения нормативного объема готовых к выемке запасов, на себестоимость добычи руды и производства концентрата

Научная новизна. Установлено, что увеличение угла откоса рабочего борта карьера значительно снижает экономическую эффективность разработки месторождения в связи с тем, что работа карьера с большим углом откоса влечет за собой не только уменьшение текущих коэффициентов вскрыши в результате улучшения режима горных работ, но и уменьшение производительности по руде, что уменьшает приведенную ценность товарной продукции вследствие увеличения периода разработки месторождения.

Практическая значимость. Результаты выполненных исследований могут быть использованы проектными организациями и горнодобывающими предприятиями при определении производительности карьера по руде.

Результаты. С увеличением производительности по руде себестоимость добычи руды, а также себестоимость производства концентрата уменьшаются. При этом максимально возможная производительность карьера по полезным ископаемым, обеспечивает максимальную экономическую эффективность разработки месторождения при выбранном направлении углубки карьера. Уменьшение производительности по полезным ископаемым на 20 и 40% влечет за собой уменьшение прибыли от разработки месторождения соответственно на 10 и 20%.

Ключевые слова: открытые горные работы, производительность карьеров по руде, режим горных работ, себестоимость добычи руды, себестоимость концентрата.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-139-143

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Для выбора производительности карьера, обеспечивающей максимальную эффективность разработки месторождения, необходим всесторонний технико-экономический анализ работы предприятия, учитывающий в том числе и влияние фактора времени на оценку результатов его работы [1,2].

Существующая взаимосвязь параметров системы разработки, обеспечивающих в карьере норматив готовых к выемке запасов [3], обуславливает при изменении производительности по полезному ископаемому изменение и коэффициентов вскрыши [4]. В свою очередь изменение коэффициентов вскрыши отражается на объемах горной массы и их распределении по годам эксплуатации, что в конечном итоге является одним из основных факторов, влияющих на экономические показатели работы карьера [5]. При этом максимальная производительность по руде обуславливает и максимальную или близкую к максимальной производительность по горной массе, что приводит к увеличению затрат на разработку месторождения. Таким образом, увеличение производительности карьера по полезному ископаемому сопровождается ростом не только доходов, но и затрат.

В связи с этим возникает вопрос, будет ли целесообразной с точки зрения экономической эффективности работа карьера с максимально возможной производительностью по полезному ископаемому.

Анализ исследований и публикаций. Большинство количество исследований направленных на установление влияния производительности карьера на экономические показатели разработки существующую взаимосвязь развития горных и добычных работ в карьере рассматривают только исходя из условия, что изменение угла откоса рабочего борта карьера приводит к изменению текущих коэффициентов вскрыши [6-8]. При этом не учитывается необходимость обеспечения нормативного объема готовых к выемке запасов [9].

Известно, что по мере роста производственной мощности карьера и уменьшении срока его эксплуатации, при одних и тех же запасах, изменяются удельные условно-постоянные затраты, а значит изменяется и себестоимость добычи руды [10]. Поэтому необходимо исследовать из-

менение себестоимости добычи руды и производства конечной товарной продукции с учетом изменения коэффициентов вскрыши при увеличении производительности по руде.

Постановка задач. Основной целью работы является - усовершенствовать научно-методическую базу в области проектирования и планирования открытых горных работ путем разработки новых и корректировки существующих методов определения производительности карьера по руде, которые должны учитывать взаимосвязь режима горных работ и производительности карьера по руде, исходя из условия обеспечения нормативного объема готовых к выемке запасов.

Изложение основного материала. Создание нормальных условий работы карьера для различных вариантов производительности по руде, в пределах максимально возможного значения, возможно за счет изменения ширины рабочих площадок, благодаря чему обеспечивается норматив готовых к выемке запасов. При этом увеличение ширины рабочих площадок приводит к уменьшению количества рабочих уступов в пределах залежи и соответственно к изменению длины фронта горных работ, как на рудных горизонтах, так и на вскрышных, что в значительной мере определяет расстояние транспортирования горной массы в карьере. С увеличением ширины рабочей площадки расстояние транспортирования увеличивается как на рудных горизонтах, так и на вскрышных. Это связано с тем, что при увеличении ширины рабочей площадки рудный фронт концентрируется на меньшем количестве уступов в нижней части карьера. При этом вскрышной фронт горных работ увеличивается за счет увеличения количества нижележащих вскрышных уступов. Поэтому при определении себестоимости добычи руды и производства конечной товарной продукции необходимо учитывать, что с увеличением производительности по руде будет увеличиваться ширина рабочих площадок, а также плечо откатки от забоев до вскрывающей выработки. Следовательно, даже небольшое увеличение расстояния транспортирования при значительных объемах перевозок приведет к существенному увеличению затрат.

Для условий, близких горно-обогатительным комбинатам Кривбасса, проанализируем влияние производительности карьера на себестоимость производства конечной товарной продукции. Исследуем работу карьера, разрабатывающего крутопадающее месторождение полезного ископаемого. Карьерное поле разделим по глубине на зоны, внутри которых закономерность изменения объемов горной массы с понижением горных работ остается постоянной.

Проведенные исследования позволяют установить степень влияния различных затрат на производственную себестоимость концентрата при изменении производительности карьера по руде.

Из рис. 1 и 2 видно, что удельные условно-постоянные затраты на добычу руды (линия 1) как в первом, так и во втором периоде одинаковы и с увеличением производительности по руде снижаются.

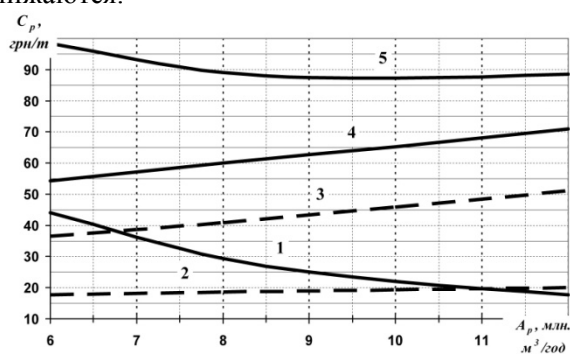


Рис. 1. Влияние производительности карьера по руде на производственную себестоимость добычи руды и ее составляющие на первом этапе его работы: 1 – удельные условно-постоянные затраты на добычу руды; 2 – удельные условно-переменные затраты на добычу руды без затрат на вскрышу; 3 – удельные условно-переменные затраты на выемку вскрышных пород; 4 – удельные условно-переменные затраты на добычу руды; 5 – удельная производственная себестоимость руды

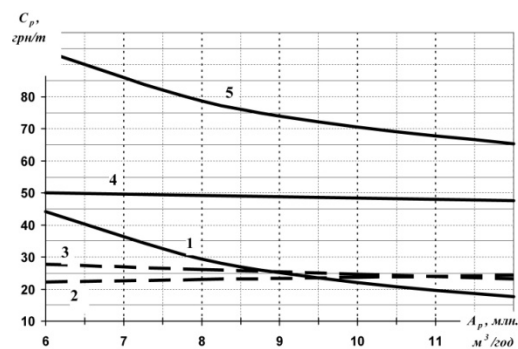


Рис. 2. Влияние производительности карьера по руде на производственную себестоимость добычи руды и ее составляющие на втором этапе его работы: 1 – удельные условно-постоянные затраты на добычу руды; 2 – удельные условно-переменные затраты на добычу руды без затрат на вскрышу; 3 – удельные условно-переменные затраты на выемку вскрышных пород; 4 – удельные условно-переменные затраты на добычу руды; 5 – удельная производственная себестоимость руды

В первом периоде работы карьера с увеличением производительности по руде вследствие увеличения дальности транспортирования и коэффициентов вскрыши удельные условно-переменные затраты на добычу руды увеличиваются (линия 4, рис. 1).

Однако во втором периоде вследствие уменьшения коэффициентов вскрыши удельные условно-переменные затраты на добычу руды при увеличении производительности незначительно уменьшаются (линия 4, рис. 2).

Кривая 5 (рис. 1, 2) показывает изменение производственной себестоимости руды в зависимости от производительности карьера по руде при уже выбранном направлении развития горных работ и свидетельствует о наличии оптимального значения производительности. На рис. 3 показано изменение себестоимости производства концентрата от производительности карьера по руде для первого (линия 1) и второго (линия 2) периодов работы. Из рисунков видно, что с увеличением производительности по руде себестоимость добычи руды, а также себестоимость производства концентрата уменьшаются.

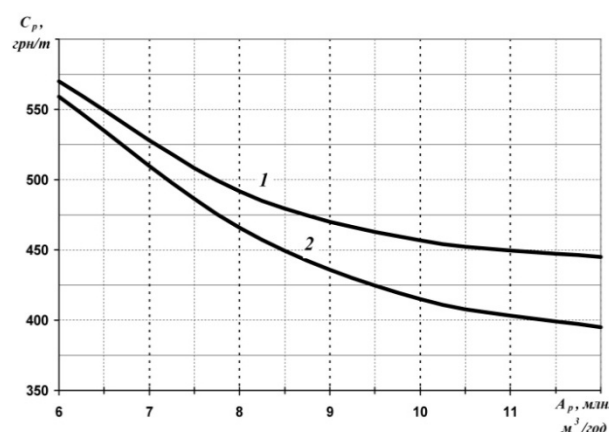


Рис. 3. Влияние производительности карьера по руде на производственную себестоимость концентрата на первом (1) и втором (2) этапе работы карьера

Однако себестоимость не может полностью характеризовать тот прирост продукции, ради которого ведется разработка. Основной целью деятельности предприятия является получение прибыли. Поэтому более рационально решать задачу определения оптимальной производительности карьера по прибыли от реализации товарной продукции ГОКа.

В качестве критерия оптимальности при сравнении вариантов принята прибыль от реализации товарной продукции (концентрата). Для соизмеримости разновременных затрат и доходов их приводили к одному моменту оценки.

Подсчитываем затраты и доходы от разработки месторождения полезного ископаемого и производства концентрата при работе карьера с различными значениями производительности и цене на концентрат, при этом для каждого варианта производительности задаемся определенными скоростями углубки горных работ. Вместе с тем, при изменении производительности карьера по руде необходимо учитывать изменение угла откоса рабочего борта карьера вследствие изменения параметров системы разработки обеспечивающих в карьере норматив готовых к выемке запасов. Что приводит к изменению коэффициентов вскрыши и дальности транспортирования горной массы.

Эти расчеты выполнены для определенного варианта развития горных работ в карьере и лишь указывают на наличие оптимальной производительности. Изменение направления развития

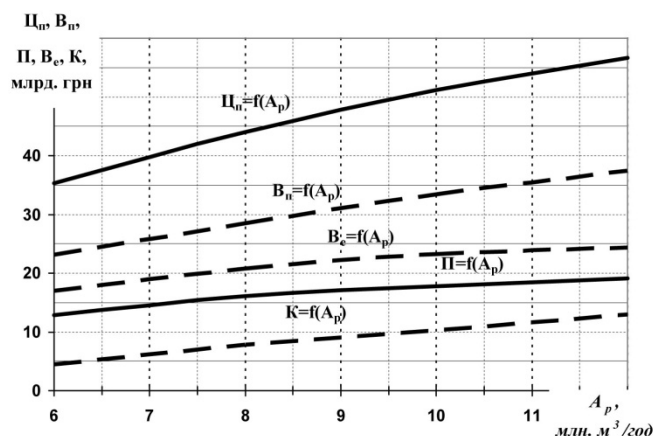


Рис. 4. Изменение затрат и доходов от разработки месторождения полезного ископаемого и производства концентрата в зависимости от производительности карьера по полезному ископаемому

горных работ влечет за собой изменение календарного распределения объемов вскрышных и добычных работ.

Результаты расчетов представлены на рис. 4. Из графиков функции $K=f(A_p)$, $З_3=f(A_p)$ видно, что приведенные суммарные капитальные (K) и эксплуатационные ($З_3$) затраты с увеличением производственной мощности карьера возрастают.

На рис. 5 показано влияние угла откоса рабочего борта карьера на приведенную прибыль от разработки месторождения при обеспечении в карьере норматива готовых к выемке запасов.

Из графика видно, что увеличение угла откоса рабочего борта значительно снижает экономическую эффективность разработки месторождения. Это объясняется тем, что работа карьера с большим углом откоса рабочего борта влечет за собой уменьшение производительности не только по пустым породам, но и по руде, что уменьшает приведенную ценность товарной продукции вследствие увеличения периода разработки месторождения.

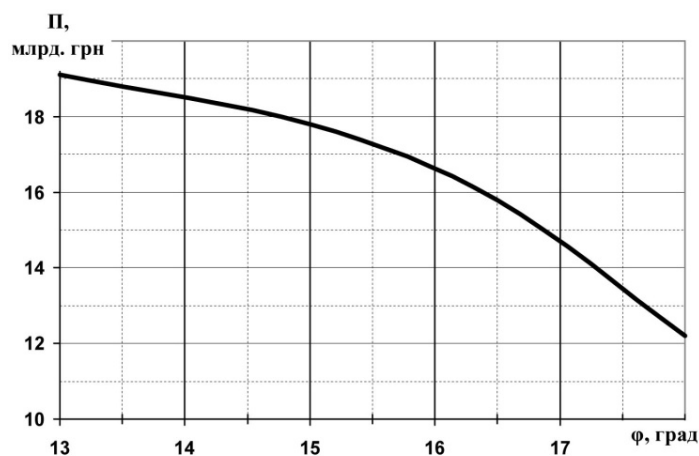


Рис. 5. График изменения прибыли от разработки месторождения в зависимости от угла откоса рабочего борта карьера

Выводы. Увеличение угла откоса рабочего борта значительно снижает экономическую эффективность разработки месторождения в связи с тем, что работа карьера с большим углом откоса влечет за собой не только уменьшение текущих коэффициентов вскрыши в результате изменения режима горных работ, но и уменьшение производительности по руде, что уменьшает приведенную

ценность товарной продукции вследствие увеличения периода разработки месторождения.

Максимально возможная производительность карьера по полезным ископаемым, обеспечивает максимальную экономическую эффективность разработки месторождения при выбранном направлении углубления карьера. Уменьшение производительности по полезным ископаемым на 20 и 40% от максимального значения влечет за собой уменьшение прибыли от разработки месторождения соответственно на 10 и 20%.

Список литературы

1. Романенко А.В. Обзор и анализ проектных решений по технологии открытых горных работ на глееватском карьере ПАО «ЦГОК» / А.В. Романенко, А.Е.Биленко, В.В.Терещенко, В.Г.Пшеничный // Гірничий вісник КНУ: збірник наук. праць, Вип. 95 (1). - Кривой Рог, 2012.- С.25-31.
2. Lutsenko. A. Sergey. Open pits productivity control along with iron ore products demand variation / Quality – Access to Success. – 2017. – vol. 18(S1) – С. 226-230.
3. Луценко С.А. Разработка метода определения максимальной, по горным возможностям, производительности карьера по руде / С.А. Луценко // Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2017. - №130. С. 168-175.
4. Вилкул Ю.Г. О проблеме отставания вскрышных работ в железорудных карьерах / Ю.Г.Вилкул, С.А. Луценко, О.Ю. Близнюкова // Металлургическая и горнорудная промышленность, №3. – 2013 – С. 92-96.
5. Шпанский О.В. Проектирование производственной мощности карьеров: Учеб. пособие / О.В.Шпанский, Д.Н.Лигоцкий, Д.В.Борисов. – Санкт-Петербургский государственный горный институт. СПб, 2004. – 96 с.
6. Ржевский В.В. Научные основы проектирования карьеров / В.В.Ржевский, М.Г.Новожилов, Б.П.Юматов. – М.: Недра, 1971.– 600 с.
7. Арсентьев А.И. Производительность карьеров / А.И.Арсентьев. – Санкт-Петербургский горный институт. СПб, 2002.– 85 с.
8. Полищук А.К. О влиянии параметров карьера на экономические показатели разработки месторождения / А.К. Полищук, В.Г. Близнюков, А.И. Руденко // Разработка рудных месторождений, Вып. 5. – Кривой Рог, 1968. – С. 23-26.
9. Луценко С. А. Определение ширины рабочей площадки и длины фронта горных работ при изменении производительности карьера по руде / С.А. Луценко // Збірник наукових праць НГУ. - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2017. - №50. С. 63-69.
10. Шестаков В.А. Проектирование горных предприятий. Изд. 3-е перераб. и доп / В.А. Шестаков. — М.: МГУ, 2003. – 795 с.

Рукопись поступила в редакцию 05.04.2018

УДК 514.742:531.1

О.А. ГУЛІВЕЦЬ, канд. техн. наук, доц., С.Ю. ОЛІЙНИК, асист.
Криворізький національний університет

ВЕКТОРНИЙ МЕТОД ДИФЕРЕНЦІЮВАННЯ ВЕКТОРНИХ ФУНКЦІЙ СКАЛЯРНОГО АРГУМЕНТА

Мета. Розробка векторного методу диференціювання векторних функцій скалярного аргумента.

Методи дослідження. На основі аналізу годографів векторних функцій і представлення приросту вектора функції, який одночасно змінюється за напрямом та величиною, як суми приросту внаслідок зміни напрямку вектора та приросту внаслідок зміни його модуля одержані математичні залежності для векторного диференціювання векторних функцій скалярного аргумента.

Наукова новизна. Розроблено векторний метод диференціювання векторних функцій скалярного аргумента, вектор яких одночасно змінюється за напрямом і модулем та установлена залежність абсолютної похідної векторної функції скалярного аргумента, яка характеризує певне механічне явище, що відбувається в певній системі відліку, яка здійснює рух відносно інших систем відліку, одна з яких приймається за нерухому, від кутових швидкостей обертання рухомих систем відліку.

Практична значимість. Використання розробленого векторного методу диференціювання векторних функцій скалярного аргумента в навчальному процесі дозволяє більш переконливо та з меншими затратами часу виконувати доведення ряду теоретичних положень з дисципліни «Теоретична механіка».

Результати. Установлено, що вектор похідної функції скалярного аргумента складається з двох складових: вектора похідної, яка характеризує швидкість змінювання напрямку вектора функції і вектора похідної, яка характеризує змінювання модуля вектора.

В роботі розглянуто випадок диференціювання векторним методом функції скалярного аргумента, яка характеризує механічне явище, що відбувається в деякій системі відліку, яка здійснює рух відносно інших систем відліку, одна з яких прийнята за нерухому.

Установлено, що абсолютна похідна векторної функції скалярного аргумента в цьому випадку залежить від кутових швидкостей обертання рухомих систем відліку, та установлена залежність, яка характеризує цей зв'язок.

В роботі на основі аналізу властивостей векторних функцій скалярного аргумента і математичних операцій над векторними функціями розроблено векторний метод їх диференціювання, який має ряд переваг в порівнянні з координатним.

Ключові слова: вектор, функція, скаляр, аргумент, годограф, диференціювання, похідна.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-143-149

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Теоретична механіка, як наука про механічний рух та взаємодію матеріальних тіл, відіграє дуже важливу роль при формуванні у студентів вміння мислити механічними категоріями і є базою для вивчення ряду інженерних дисциплін.

При вивченні дисципліни «Теоретична механіка» проводиться доведення певних теоретичних положень, при виконанні яких проводяться ряд математичних операцій над векторними та скалярними величинами.

В сучасних умовах роботи вищої школи, коли стрімко зменшується кількість часу на аудиторне навчання, при вивченні теоретичної механіки постає необхідність застосовувати такі методи проведення математичних операцій над векторними величинами, які б переконливо з малими затратами часу дозволяли виконувати доведення тих чи інших теоретичних положень з даної дисципліни.

Отже, розробка нових методів проведення певних математичних операцій над векторними величинами, які б відповідали цим вимогам є актуальним для вищої школи.

Аналіз досліджень та публікацій. При дослідженнях ряду фізичних явищ над векторними величинами, що їх описують, проводять математичні операції: знаходження суми, векторного і скалярного добутку, добуток векторної величини на скалярну, диференціювання та інтегрування, які достатньо повно і на високому рівні розглянуті в ряді літературних джерел з вищої математики [1...4] та теоретичної механіки [5...14].

Як відомо [5] є два методи проведення математичних операцій над векторними величинами: векторний та координатний. При векторному методі оперують безпосередньо з векторами, не зв'язуючи їх з певними системами координат. При координатному методі операції проводяться над скалярними величинами, які аналітично визначають вектор в деякій системі координат.

нат.

У розглянутих літературних джерелах з вищої математики [1...4] при диференціюванні векторних функцій скалярного аргументу застосовано лише координатні методи (при диференціюванні векторні функції розкладають вздовж осей певної системи координат).

В джерелах з теоретичної механіки [5...13] при диференціюванні векторних функцій скалярного аргументу в основному також застосований координатний метод.

В роботі [6] формулу Ейлера для визначення швидкості точки тіла при обертальному русі як векторного добутку кутової швидкості тіла на радіус-вектор точки одержано векторним методом. Однак при виведенні формули Бура, яка виражає зв'язок між відносною і абсолютною похідними від радіуса-вектора точки, використано координатний метод.

В роботі [14] приведено розроблений векторний метод диференціювання векторних функцій скалярного аргументу та його застосування для доведення теорем кінематики матеріальної точки та твердого тіла, який ґрунтується на представленні її вектора у вигляді добутку одиничного вектора на модуль цього вектора. Застосування цього методу при доведенні теорем кінематики точки та твердого тіла дозволяє скоротити час на їх доведення, але є недостатньо наочним.

Постановка задачі. На основі аналізу властивостей векторних функцій скалярного аргументу і геометричної інтерпретації їх годографів розробити векторний метод їх диференціювання, який повинен бути наочно переконливим для застосування в навчальному процесі.

Викладення матеріалу та результати. В теоретичній механіці – науці про механічний рух та взаємодію матеріальних об'єктів – широко застосовуються методи векторного числення, які мають велику перевагу перед координатним методом внаслідок компактності і фізичної наочності векторних формул.

В ряді досліджень використовують змінні векторні величини, які є функціями скалярних величин – векторними функціями скалярного аргумента.

При дослідженнях механічного руху точки та твердого тіла векторними функціями скалярного аргумента (часу) є радіуси-вектори точок $\vec{r} = \vec{r}(t)$, їх швидкості $\vec{v} = \vec{v}(t)$ та прискорення $\vec{a} = \vec{a}(t)$.

При кінематичних дослідженнях над векторними функціями скалярного аргумента проводяться математичні операції: знаходження їх суми, векторного та скалярного їх добутку, добутку векторних функцій на скалярну функцію або сталу скалярну величину, диференціювання та інтегрування.

Математичні операції над векторними функціями скалярного аргумента: знаходження їх суми, векторного та скалярного добутку, добутку векторних функцій на скалярну функцію виконуються так само як і над будь-якими векторними величинами.

Диференціювання векторних функцій скалярного аргумента, добутку векторних функцій на скалярну, скалярного або векторного добутків векторних функцій виконується за правилами, які аналогічні відомим правилам диференціювання скалярних функцій.

Так як при дослідженнях кінематики та динаміки механічних явищ виникає необхідність диференціювати певні векторні функції скалярного аргумента (часу, дуги та ін.), які можуть бути різними за фізичним змістом, то спочатку введемо поняття похідної довільної векторної функції скалярного аргумента не надаючи їй конкретного фізичного змісту.

Нехай деяке механічне явище характеризується в певній системі відліку деякою безперервною векторною функцією $\vec{a}(u)$ скалярного аргумента u .

Розглянемо три частинні випадки змінювання векторної функції при змінюванні аргумента:

- 1) функція змінюється лише за напрямом (рис. 1а);
- 2) функція змінюється лише за модулем (величиною) (рис. 1б);
- 3) функція змінюється одночасно за напрямом та модулем (рис. 1в).

Лінія, яку окреслює при безперервному змінюванні скалярного аргумента u кінець вектора $\vec{a}(u)$, початок якого знаходиться в деякій фіксованій точці простору, називається годографом векторної функції $\vec{a}(u)$. Як видно з рис. 1, при змінюванні векторної функції лише за напрямом годографом $\vec{a}(u)$ буде дуга кола радіуса a . Якщо ж векторна функція буде змінюватись лише за модулем, то годографом вектора $\vec{a}(u)$ буде пряма лінія, яка бере початок у фіксованій точці.

При одночасному змінюванні векторної функції за напрямом та модулем годографом вектора $\vec{a}(u)$ буде крива або пряма лінія, що не проходить через фіксовану точку простору.

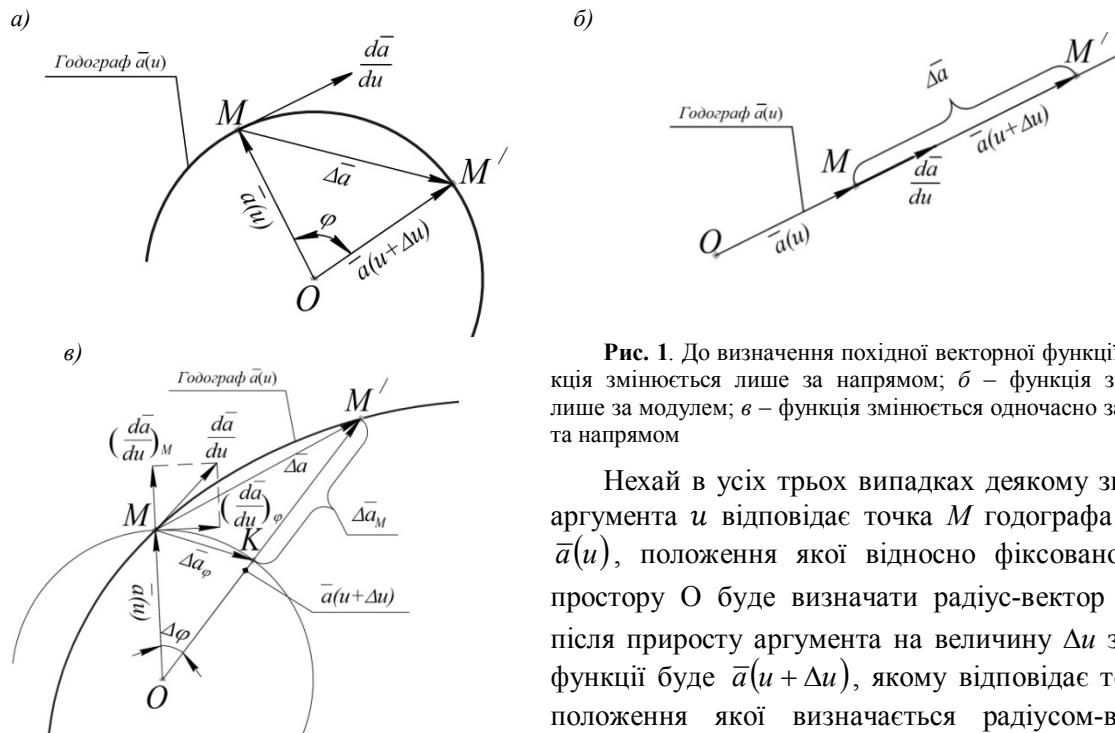


Рис. 1. До визначення похідної векторної функції: a – функція змінюється лише за напрямом; b – функція змінюється лише за модулем; v – функція змінюється одночасно за модулем та напрямом

Нехай в усіх трьох випадках деякому значенню аргумента u відповідає точка M годографа функції $\vec{a}(u)$, положення якої відносно фіксованої точки простору O буде визначати радіус-вектор $\vec{a}(u)$, а після приросту аргумента на величину Δu значення функції буде $\vec{a}(u + \Delta u)$, якому відповідає точка M' , положення якої визначається радіусом-вектором $\vec{a}(u + \Delta u)$.

Тоді приріст векторної функції $\vec{a}(u)$, що відповідає приросту скалярного аргумента Δu визначиться різницею

$$\Delta \vec{a} = \vec{a}(u + \Delta u) - \vec{a}(u).$$

Як відомо з вищої математики, похідною першого порядку векторної функції $\vec{a}(u)$ називається змінний вектор, який визначається рівністю

$$\frac{d\vec{a}(u)}{du} = \lim_{\Delta u \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{a}}{\Delta u} = \lim_{\Delta u \rightarrow 0} \frac{\vec{a}(u + \Delta u) - \vec{a}(u)}{\Delta u}, \quad (1)$$

якщо границя в правій частині цієї рівності існує.

Розглянемо визначення похідної векторної функції, яка змінюється при зміні скалярного аргумента лише за напрямом (див. рис. 1а).

У цьому випадку вектор приросту функції $\Delta \vec{a}(u)$, який спрямований по січній MM' , при $\Delta u \rightarrow 0$, гранично буде спрямований по дотичній до годографа векторної функції $\vec{a}(u)$ в точці M .

Отже вектор похідної $\frac{d\vec{a}}{du}$, що визначається згідно з рівнянням (1), характеризує швидкість змінювання вектора $\vec{a}(u)$ при змінюванні аргумента u і буде спрямованим по дотичній до годографа функції в бік зростання аргумента. А так як модуль $|\vec{a}(u)| = \text{const}$, то вектор $\frac{d\vec{a}}{du}$ буде перпендикулярним векторові $\vec{a}(u)$.

Модуль векторної функції скалярного аргумента у випадку, що розглядається є сталою величиною $|\vec{a}(u)| = a$, тому трикутник MOM' (див. рис. 1а) є рівнобедреним, в якому кут $\Delta \varphi$ характеризує поворот вектора $\vec{a}(u)$, що відповідає зміні аргумента Δu . З трикутника MOM' модуль приросту векторної функції визначається з рівняння

$$|\Delta \vec{a}| = MM' = 2a \sin \frac{\Delta \varphi}{2}.$$

Тоді модуль похідної векторної функції $\vec{a}(u)$ визначається згідно з рівнянням

$$\left| \frac{d\vec{a}(u)}{du} \right| = \lim_{\Delta u \rightarrow 0} \frac{|\vec{a}|}{\Delta u} = \lim_{\Delta u \rightarrow 0} \frac{2a \sin \frac{\Delta \varphi}{2}}{\Delta u}. \quad (2)$$

Помножимо чисельник і знаменник правої частини рівняння (2) на $\frac{\Delta \varphi}{2}$ і одержимо

$$\left| \frac{d\vec{a}(u)}{du} \right| = \lim_{\Delta u \rightarrow 0} \frac{2a \sin \frac{\Delta \varphi}{2} \cdot \frac{\Delta \varphi}{2}}{\Delta u \cdot \frac{\Delta \varphi}{2}} = \lim_{\Delta u \rightarrow 0} \frac{a \Delta \varphi \sin \frac{\Delta \varphi}{2}}{\Delta u \cdot \frac{\Delta \varphi}{2}}.$$

Прийнявши до уваги, що при $\Delta u \rightarrow 0$ кут $\Delta \varphi \rightarrow 0$, а $\lim_{\Delta \varphi \rightarrow 0} \frac{\sin \frac{\Delta \varphi}{2}}{\frac{\Delta \varphi}{2}} = 1$, одержимо

$$\left| \frac{d\vec{a}(u)}{du} \right| = a \cdot \lim_{\Delta u \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta u} = a \cdot \omega, \quad (3)$$

де ω – модуль вектора кутової швидкості повертання вектора $\vec{a}(u)$ навколо осі, що проходить через фіксовану точку O простору внаслідок зміни величини аргумента u .

Вектор кутової швидкості $\vec{\omega}$ спрямований вздовж осі, яка проходить через фіксовану точку O простору, перпендикулярний площині, в якій відбувається зміна напрямку вектора $\vec{a}(u)$, і спрямований в той бік, звідки, якщо дивитись назустріч цьому векторові, будемо спостерігати повертання вектора $\vec{a}(u)$ внаслідок змінювання аргумента u проти руху годинникової стрілки. Отже, кут між вектором $\vec{\omega}$ та вектором $\vec{a}(u)$ дорівнює 90° . Тоді права частина рівняння (3) є модулем векторного добутку

$$|\vec{\omega} \times \vec{a}(u)| = \omega \cdot a \cdot \sin 90^\circ = \omega \cdot a.$$

Звідси висновок: вектор похідної векторної функції $\vec{a}(u)$, яка змінюється лише за напрямом, по скалярному аргументу визначається рівністю

$$\frac{d\vec{a}(u)}{du} = \vec{\omega} \times \vec{a}(u). \quad (4)$$

Отже, похідна векторної функції скалярного аргумента, яка змінюється за напрямом і є сталою за модулем, по скалярному аргументу є вектор, який дорівнює векторному добутку вектора кутової швидкості повертання вектора функції $\vec{a}(u)$ при змінюванні скалярного аргумента u на векторну функцію $\vec{a}(u)$.

У випадку, коли вектор функції змінюється лише за модулем і є сталим за напрямом (див. рис. 1б), годографом функції $\vec{a}(u)$ є пряма лінія, що проходить через фіксовану точку O . Вздовж годографа функції в бік зростання аргумента буде спрямований вектор приросту функції $\Delta \vec{a}(u)$. Вектор похідної векторної функції, яка змінюється лише за модулем, визначається згідно з рівнянням (1) і є спрямованим вздовж годографа векторної функції $\vec{a}(u)$ в бік зростання аргумента.

Модуль похідної векторної функції в даному випадку дорівнює

$$\left| \frac{d\vec{a}(u)}{du} \right| = \frac{da(u)}{du}.$$

У випадку, коли векторна функція скалярного аргумента одночасно змінюється за модулем і напрямом, годографом такої функції може бути випукла або угнута відносно фіксованої точки крива лінія або пряма лінія, що не проходить через фіксовану точку простору.

Розглянемо випадок, коли годографом векторної функції є випукла крива (див. рис. 1в).

Нехай точка M годографа функції $\vec{a}(u)$ відповідає деякому значенню аргумента u , а точка M' годографа значенню аргумента $u + \Delta u$. Нехай при цьому приріст аргумента $\Delta u > 0$. Приріст $\Delta \vec{a}$ вектора функції $\vec{a}(u)$ буде спрямований вздовж січної MM' в бік зростання аргумента.

Як видно з рис. 1в, приріст $\Delta \vec{a}$ може бути представлений геометрично сумою приросту векторної функції при її змінюванні лише за напрямом при сталому модулі $\Delta \vec{a}(u)_\varphi$ та приросту

векторної функції при її змінюванні лише за модулем при сталому напрямі $\Delta \bar{a}(u)_M$

$$\Delta \bar{a}(u) = \Delta \bar{a}(u)_\varphi + \Delta \bar{a}(u)_M. \quad (5)$$

Тоді згідно з рівняннями (1) і (5) похідна векторної функції по скалярному аргументу прийме вигляд

$$\frac{d\bar{a}(u)}{du} = \lim_{\Delta u \rightarrow 0} \frac{\bar{a}(u)}{\Delta u} = \lim_{\Delta u \rightarrow 0} \frac{\bar{a}(u)_\varphi}{\Delta u} + \lim_{\Delta u \rightarrow 0} \frac{\bar{a}(u)_M}{\Delta u}.$$

Звідси наслідок

$$\frac{d\bar{a}(u)}{du} = \frac{d\bar{a}(u)_\varphi}{du} + \frac{d\bar{a}(u)_M}{du}. \quad (6)$$

Отже, в загальному випадку, коли вектор функції скалярного аргумента одночасно змінюється за напрямом та величиною, вектор її похідної по скалярному аргументу $\frac{d\bar{a}(u)}{du}$ є геометричною сумою вектора похідної цієї функції при її змінюванні лише за напрямом при сталому модулі $\frac{d\bar{a}(u)_\varphi}{du}$ і вектора похідної цієї функції при її змінюванні лише за модулем та сталому напрямі $\frac{d\bar{a}(u)_M}{du}$.

Вектор $\frac{d\bar{a}(u)}{du}$ характеризує швидкість змінювання за модулем та напрямом вектора функції $\bar{a}(u)$ спрямований по дотичній до годографа в бік, що відповідає зростанню аргумента.

Вектор $\frac{d\bar{a}(u)_\varphi}{du}$ характеризує швидкість змінювання напрямку вектора векторної функції $\bar{a}(u)$ при незмінному модулі і спрямований по дотичній до годографа функції, що змінюється лише за напрямом, в бік, що відповідає зростанню аргумента.

Вектор $\frac{d\bar{a}(u)_M}{du}$ характеризує швидкість змінювання модуля вектора векторної функції $\bar{a}(u)$ при сталому напрямі і спрямований вздовж вектора векторної функції в напрямі його зростання.

Підставивши значення похідної векторної функції по скалярному аргументу при змінюванні її вектора лише за напрямом при незмінному модулі (4) в рівняння (6) одержимо

$$\frac{d\bar{a}(u)}{du} = \bar{\omega} \times \bar{a}(u) + \frac{d\bar{a}(u)_M}{du}. \quad (7)$$

Розглянемо більш складний випадок диференціювання векторних функцій скалярного аргумента.

Нехай в деякій точці простору відбувається механічне явище, яке характеризується деякою векторною функцією $\bar{a}(u)$ і яке фіксується в двох системах відліку: в рухомій системі, де це явище відбувається безпосередньо, яку будемо називати відносною і в системі, яку приймаємо за нерухому і відносно якої здійснює рух рухома.

Швидкість змінювання векторної функції $\bar{a}(u)$ відносно рухомої системи відліку будемо називати відносною похідною і позначати $\left(\frac{d\bar{a}(u)}{du}\right)_r$, а відносно нерухомої системи відліку будемо називати абсолютною похідною векторної функції по скалярному аргументу і позначати $\left(\frac{d\bar{a}(u)}{du}\right)_a$. Установимо залежність між абсолютною та відносною похідними векторної функції скалярного аргумента.

Швидкість змінювання векторної функції відносно рухомої системи відліку не залежить від руху цієї системи відліку відносно нерухомої. Отже відносна похідна векторної функції по скалярному аргументу згідно з рівнянням (7) буде мати вигляд

$$\left(\frac{d\bar{a}(u)}{du}\right)_r = \bar{\omega} \times \bar{a}(u) + \frac{d\bar{a}(u)_M}{du}, \quad (8)$$

де $\bar{\omega}_r$ – вектор кутової швидкості повертання вектора функції $\bar{a}(u)$ у відносній (рухомій) системі відліку.

Розглянемо тепер абсолютну похідну векторної функції $\bar{a}(u)$. Враховуючи, що на величину модуля векторної функції $\bar{a}(u)$ зміна положення рухомої системи відліку відносно нерухомої не впливає, а на величину змінювання напряму даної векторної функції додатково вплине лише кутова швидкість обертання тіла відліку рухомої системи і враховуючи (8) запишемо похідну векторної функції $\bar{a}(u)$ відносно нерухомої системи відліку

$$\left(\frac{d\bar{a}(u)}{du}\right)_a = \bar{\omega}_r \times \bar{a}(u) + \frac{d\bar{a}(u)_M}{du} + \bar{\omega}_e \times \bar{a}(u), \quad (9)$$

де $\bar{\omega}_e$ – вектор кутової швидкості обертання тіла відліку рухомої системи відносно миттєвої осі, що проходить через початок відліку рухомої системи.

Тоді рівняння (9), яке виражає абсолютну похідну векторної функції по скалярному аргументу, враховуючи рівняння (8), прийме вигляд

$$\left(\frac{d\bar{a}(u)}{du}\right)_a = \left(\frac{d\bar{a}(u)}{du}\right)_r + \bar{\omega}_e \times \bar{a}(u). \quad (10)$$

Таким чином, векторним методом одержана формула Бура, з якої випливає, що абсолютна похідна векторної функції скалярного аргумента дорівнює векторній сумі відносної похідної цієї функції та векторного добутку кутової швидкості обертання рухомої системи відліку (тіла відліку) на вектор, який диференціюють.

Якщо фізичне явище, яке характеризується деякою векторною функцією $\bar{a}(u)$ і яке фіксується крім нерухомої в декількох рухомих системах відліку, які матимуть свої тіла відліку, кожне з яких буде мати свій вектор кутової швидкості обертання відносно своєї миттєвої осі $\bar{\omega}_{ei}$, то абсолютна похідна векторної функції $\bar{a}(u)$ прийме вигляд

$$\left(\frac{d\bar{a}(u)}{du}\right)_a = \left(\frac{d\bar{a}(u)}{du}\right)_r + \sum_{i=1}^n \bar{\omega}_{ei} \times \bar{a}(u). \quad (11)$$

Висновки та напрямки подальших досліджень. На основі аналізу властивостей векторних функцій скалярного аргумента їх графіків і математичних операцій над векторними функціями розроблено векторний метод їх диференціювання (7, 11), який має ряд переваг в порівнянні з координатним.

Розроблений метод є наочно переконливим і доцільним для використання в навчальному процесі при вивченні дисципліни «Теоретична механіка».

Список літератури

1. Мельникова Н.В., Мельников Ю.Б., Мельникова Ю.Ю. Основы векторного анализа. Интегралы в теории поля. ГОУ ВПО «УГТУ - УПИ», 2006.
2. Гриньов Б.В. Векторна алгебра: підруч. для техн. ВНЗ / Б.В. Гриньов, І.К. Кириченко. За ред. О.М. Литвина, - Харків: Гімназія, 2008. – 164 с.
3. Элементы векторного анализа. Электронное учебное пособие. Составители: Галеев А.А., Червиков Б.Г. – Казань: Казанский государственный университет, 2009.
4. Малышев А.И., Максимова Г.М. Основы векторного и тензорного анализа для физиков. Электронное учебно-методическое пособие. Нижегородский университет, 2012. – 10 с.
5. Курс теоретической механики, т. 1 (кинематика, статика, динамика точки). Кильчевский Н.А. Изд. 2-е. Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», М.: 1977 г., 480 с.
6. Павловский М.А. и др. Теоретическая механика. Статика. Кинематика / М.А. Павловский, Л.Ю. Акинфиева, О.Ф. Бойчук; под ред. М.А. Павловского. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1989. – 351 с.
7. Никитин Н.П. Курс теоретической механики. Учеб. для машиностроит. и приборостроит. спец. вузов 5-е изд. перераб. и доп. / Н.Н. Никитин. – М.: Высш. шк., 1990. – 607 с.
8. Токар А.М. Теоретична механіка. Кінематика. Методи і задачі. Навч. посібник / А.М. Токар. – К.: Либідь, 2001. – 416 с.
9. Бутенин Н.В. Курс теоретической механики. В двух томах / Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р. Меркин. – СПб.: Издательство «Лань», 2002. – 736 с.
10. Павловский М.А. Теоретическая механика / М.А. Павловский. - Киев: Техника, 2002. – 510 с.
11. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. Учебник. 9-е изд. стер. / С.М. Тарг. – СПб.: Издательст-

во «Лань», 2002. – 768 с.

12. **Бондаренко А.А., Дубінін О.О., Переяславцев О.М.** Теоретична механіка: Підручник: У 2 ч. – Ч. 1: Статика. Кінематика. – К.: Знання, 2004. – 599 с. – (Вища освіта ХХІ століття).

13. **Дронг В.И.** Курс теоретической механики. Учебник для вузов / **В.И. Дронг, В.В. Дубинин, М.М. Ильин и др.** Под общей ред. **К.С. Колесникова**. 3-е изд. стереотип. – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 736 с.

14. **Гулівець О.А., Олійник С.Ю., Маркевич Г.А.** Векторні функції скалярного аргументу при дослідженнях кінематики точки та твердого тіла. Вісник Черкаського університету. Серія фізико-математичні науки, 2017, № 1. – С. 138-146.

Рукопис подано до редакції 19.04.2018

УДК 621.9.04:533.9: 621.791.947.55

В.П. НЕЧАЄВ, А.О. РЯЗАНЦЕВ, кандидати техн. наук, доценти, **О.О. СОЛОДУН**, магістрант
Криворізький національний університет

ВПЛИВ СИЛОВОГО І ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЗУБА ФРЕЗИ НА СТІЙКІСТЬ ЛЕЗА ПРИ ПЛАЗМОВО-МЕХАНІЧНОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

Мета. Метою даної роботи є вдосконалення технології обробки деталей з важкооброблюваних матеріалів, а саме – дослідження та наукове обґрунтування параметрів процесу плазмово-механічного фрезерування поверхонь деталей з легованих сталей для підвищення продуктивності обробки, забезпечення необхідної стійкості робочої частини різального інструменту.

Методи дослідження. Результати роботи отримані шляхом теоретичних і експериментальних досліджень. Теоретичні дослідження полягають у визначенні параметрів теплового поля заготовки при плазмовому нагріванні в умовах плазмово-механічного фрезерування. Експериментальні дослідження засновані на комплексному вивченні взаємозв'язку основних показників фрезерування з факторами попереднього плазмового нагрівання припуску.

Наукова новизна. У результаті проведених досліджень були отримані дані про температурні поля в матеріалі заготовки при нагріванні плазмовою дугою, що сканує одночасно в двох напрямках щодо вектору хвилинної подачі. Виявлене падіння інтенсивності навантаження передньої поверхні ріжучого клину по всьому шляхові контакту зуба фрези із заготовкою, у порівнянні з обробкою без нагрівання. Вивчені особливості зношування ріжучого лека та умови виникнення та розвитку округлення ріжучої крайки, виведені залежності, що визначають зв'язок стійкості інструмента з режимами нагрівання й різання в конкретних умовах плазмово-механічного фрезерування.

Практичне значення. Розроблений процес плазмово-механічного фрезерування та рекомендації з вибору параметрів нагрівання й різання дозволяють в 2... 4 рази збільшувати продуктивність обробки заготовок зі середньо легованих сталей і титанових сплавів при збереженні стійкості ріжучої частини інструмента.

Результати. Встановлено, що попереднє плазмове нагрівання при фрезеруванні площини забезпечує протікання специфічного термічного циклу в матеріалі припуску, у результаті чого змінюються твердість і пластичність оброблюваного матеріалу. Зміна механічних властивостей припуску приводить до зниження питомих навантажень на ріжучий клин, до зниження інтенсивності його адгезійного зношування й тендітного руйнування, до його округлення, що позитивно позначається в цілому на стійкості інструмента.

Ключові слова: плазмове нагрівання, фрезерування, ріжучий клин, навантаження, стійкість.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-149-153

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Розвиток машинобудування вимагає від вчених і інженерів пошуку нових високоефективних методів обробки металу, створення надійних технологічних процесів і найбільш ефективного застосування їх в виробничих умовах. Одним з таких процесів є плазмово-механічна обробка (ПМО). З'явившись в кінці 60-х років минулого століття, вона до цих пір є предметом вивчення, в наукових лабораторіях, розкриваються її нові можливості та перспективи. ПМО - досить складний процес, кількість керованих параметрів якого велике, що ускладнює ефективно застосовувати процес без попередніх досліджень для визначення раціональних режимів обробки.

Це особливо відноситься до плазмово-механічного фрезерування (ПМФ). Аналіз літературних джерел по проведених лабораторним дослідженням виявив раціональні схеми процесу ПМФ, області їх застосування, що дозволило визначити коло технологічних проблем, що вирішуються при цьому процесі, рекомендувати його впровадження на конкретних операціях [1, 7, 12, 13].

Висока ефективність плазмово-механічного фрезерування робить актуальними подальші розробки, спрямовані на пошук нових способів застосування плазмової дуги для поверхневого

нагріву, знеміцнення припуску при фрезеруванні, що дозволило б значно підвищити продуктивність обробки важкооброблюваних матеріалів [8-11].

Аналіз досліджень і публікацій. Різноманіття процесів фрезерування з широким спектром впливу плазмової дуги на оброблюваний матеріал породило велику кількість схем плазмово-механічного фрезерування, що підтверджується наявністю публікацій і патентів на різні схеми ПМФ [2-4]. Однак випробування показали, що багато із запропонованих способів не можуть бути використані через низьку технологічну надійність. Лабораторні дослідження і досвід промислового впровадження дозволяють рекомендувати три схеми ПМФ, ефективність і надійність яких доведені (рис.1).

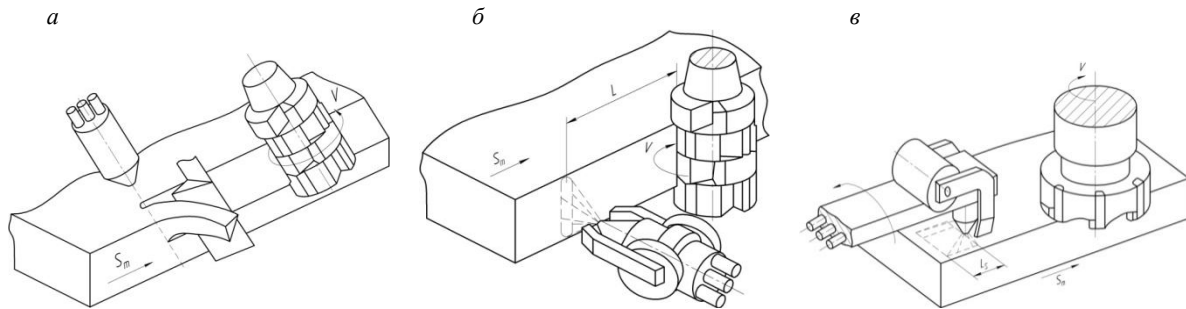


Рис.1. Різновиди схем плазмово-механічного фрезерування: S_m – хвилинна подача; V – швидкість обертання фрези; L – відстань між фрезою та плазмотроном; L_s – довжина опорної плями нагрівання

Висока концентрація енергії плазмової дуги дає можливість використовувати її як високо-ефективний інструмент видалення (відрізки або сплавлення) основної частини припуску [3]. Однак реалізація даного способу вимагає істотної модернізації приводу подачі фрезерного верстата, устаткувати його додатковими захисними пристроями столу верстата.

Застосування електромагнітного сканування плазмової дуги щодо оброблюваної поверхні призвело до створення регульованого по інтенсивності і площі джерела нагріву, що дає можливість реалізувати схеми ПМФ як при циліндричному, так і при торцевому фрезеруванні з нагріванням зони врізання зуба. Найбільш ефективно застосування цього способу при обробці кромки листових заготовок з обробленням під зварювання (рис.1 а, б). При цьому, зниження інтенсивності плазмового нагріву, завдяки використанню електромагнітного сканування дуги, різко знижує утворення шкідливих аерозолів, а також запобігає оплавленню поверхні заготовки.

Подальше розширення зони плазмового нагріву, необхідне умовами торцевого фрезерування, можливо за рахунок механічного сканування плазмової дуги щодо оброблюваної поверхні (рис.1 в) [5, 6].

Оскільки термічний цикл поверхневих шарів заготовки при плазмовому нагріванні, внаслідок структурно-фазових перетворень, істотно змінює їх фізико-механічні властивості в сторону зменшення, з'являється можливість значно підвищити продуктивність обробки, забезпечуючи при цьому необхідну стійкість різального інструмента [14, 15].

Постановка задачі. Оскільки в спеціальній літературі практично відсутня структурована інформація про особливості зношування ріжучої частини фрез при ПМФ, прийнято за доцільне заповнити відсутню інформацію по даному напрямку. Таким чином, метою даної роботи є вдосконалення технології обробки деталей з важкооброблюваних матеріалів, а саме – дослідження та наукове обґрунтування параметрів процесу плазмово-механічного фрезерування поверхонь деталей з легованих сталей для підвищення продуктивності обробки, забезпечення необхідної стійкості робочої частини різального інструменту.

Сформульована мета роботи обумовила необхідність дослідження особливостей контактних процесів в зоні різання, в тому числі – силового і теплового навантаження зубів фрези.

Виклад матеріалу і результати. Стійкість твердосплавного інструменту при фрезеруванні важкооброблюваних матеріалів часто визначається крихким руйнуванням і викришуванням різальних кромки, що обумовлено високим тиском на контактних ділянках леза фрези. Плазмовий нагрів, як вказувалося, знижує твердість матеріалу припуску в кілька разів. Величина середнього тиску на передній поверхні ріжучого клина задовільно корелює з динамічною твердістю матеріалу припуску

$$\sigma_{Ncp} \approx 0,2 H_o, \quad (1)$$

де H_0 – твердість динамічна.

Слід зазначити, що у перлітових і мартенситних сталей спостерігається різке зниження інтенсивності навантаження ріжучого леза завдяки аустенізації металу припуску. Великий вплив робить плазмовий нагрів і на зменшення тиску на задній поверхні зуба при розвинених фасках зносу, що виражається в істотному падінні величини складової сили різання P_y . Так, при обробці сталей, схильних до наклепу (45Г17Ю3 і 110М13Л), вже при фасці зносу 0,3 мм при фрезеруванні «в холодну» сила P_y досягає надзвичайно великого значення, приводячи до руйнування ріжучої кромки. При ПМФ припуску, що має температуру в момент обробки $\theta = 250^\circ\text{C}$, сила P_y зменшується до п'яти разів, що дозволяє нормально експлуатувати інструмент навіть при фасках зносу понад 2 мм.

Таким чином, метал припуску, що надходить в зону різання, в залежності від глибини шару може мати різні фізико-механічні властивості (рис.2). На поверхні можуть бути присутні шари металу: оплавленого 2, що зазнав структурно-фазові перетворення (типу гартівних), 3 і структурно-релаксаційні (типу відпускних) 4, а також практично незмінного 1.

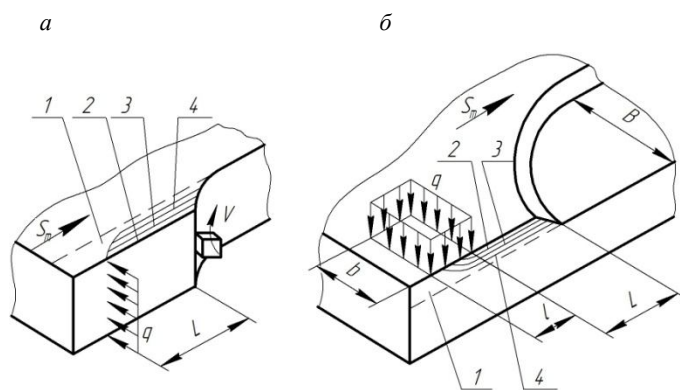


Рис.2. Схеми нагріву і зрізання припуску при циліндричному (а) і торцевому (б) ПМФ: B – ширина фрезерування; l і b – розміри опірної плями нагрівання; q – інтенсивність теплового джерела

Так як зуб фрези в процесі різання при ПМФ перетинає шари металу, що знаходяться в різних структурних і напружених станах, одним із завдань досліджень було вивчення названих чинників на силове навантаження ріжучого клина. Короткочасність контакту зуба фрези із заготовкою ($10^{-3} \div 10^{-2}$ с) визначила необхідність використання п'єзоелектричних датчиків, встановлених в корпусі спеціальної динамометричної фрези.

Вивчення усадки стружки в умовах змінної товщини зрізу по довжині контакту зуба фрези із заготовкою проводилося по повздовжньому перетину стружки яка утворюється. Було встановлено, що довжина контакту залежить від структурного стану зрізаного шару, досягаючи свого максимального значення при зрізанні аустеніту (рис.3).

Вивчення усадки стружки в умовах змінної товщини зрізу по довжині контакту зуба фрези із заготовкою проводилося по повздовжньому перетину стружки яка утворюється. Було встановлено, що довжина контакту залежить від структурного стану зрізаного шару, досягаючи свого максимального значення при зрізанні аустеніту (рис.3).

Проведене, методом природної термопари, експериментальне вивчення температури різання показало, що вона істотно змінна по шляху контакту зуба фрези із заготовкою. При цьому середній за час контакту рівень температури різання при ПМФ перлітно-мартенситних сталей мінімальний при охолодженні припуску аж до точки початку мартенситного перетворення (рис.4).

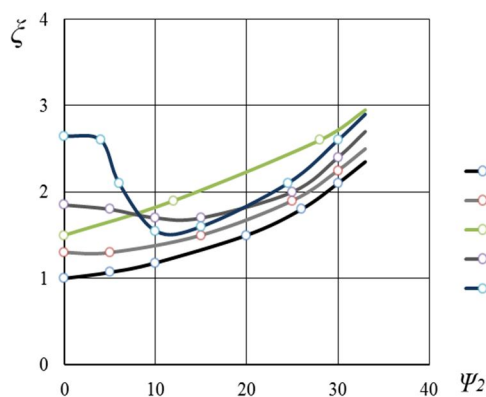


Рис.3. Зміна усадки стружки шляхом контакту зуба фрези із заготовкою при попутному ПМФ сталі 38ХНЗМФА

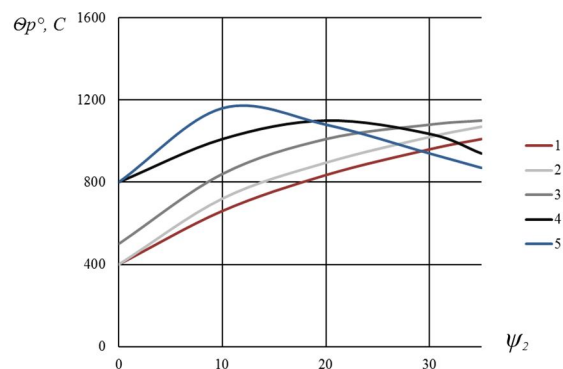


Рис.4. Зміна температури різання по шляху контакту зуба фрези із заготовкою при попутному ПМФ сталі 38ХНЗМФА: $V = 160$ м/хв; $t = 8$ мм; $S_z = 0,2$ мм/зуб; 1,2,3,4 - при плазмовому нагріванні: 1 - $\theta = 450^\circ\text{C}$; 2 - $\theta = 300^\circ\text{C}$; 3 - $\theta = 200^\circ\text{C}$; 4 - $\theta = 20^\circ\text{C}$; 5 - при обробці без нагріву

Досить значний вплив на характер навантаження зуба надає вибір схеми фрезерування.

При циліндричному попутному фрезеруванні врізання зуба відбувається в поверхневі, найбільш знемічені шари припуску, що знижує інтенсивність динамічного навантаження лез фрези. Вихід зуба з контакту з заготовкою здійснюється при нульовому перетині зрізу і не супроводжується приварюванням стружки до передньої поверхні, завдяки чому відсутнє викришування різальної кромки при подальшому відділенні зуба.

У разі зустрічного фрезерування зуб врізається в практично незнемічений шар l з нульової товщини зрізу, що призводить до проковзування зуба фрези, сильному наклепу зони врізання і викришуванню різальної кромки. При цьому виходу зуба з контакту з заготовкою супроводжує приварювання до нього стружки своїм товстим кінцем, сформованої з металу найбільш пластичних зон 2 і 3 (рис.2). При подальшому врізанні зуба стружка відділяється з великими (до 1 мм) блоками твердого сплаву, вирваними з боку передньої поверхні леза. Це робить зустрічне циліндричне ПМФ практично неможливим.

При торцевому ПМФ різні ділянки ріжучої кромки в процесі різання знаходяться в різних умовах. Так, вершина зуба на всьому шляху по дузі контакту може переміщатися в шарі, що не зазнали будь-яких структурних перетворень. У той же час, віддалена від вершини ділянка різальної кромки буде рухатися в застиглому після розплавлення шарі.

При торцевому ПМФ, також, як і при циліндричному, рекомендується попутне фрезерування, оскільки така схема практично запобігає викришування різальних кромок фрези через приварювання стружки до передньої поверхні. При торцевому фрезеруванні можна виключити приварювання стружки в результаті меншого нагріву зони виходу зуба фрези з контакту з заготовкою, що легко здійснити відповідним розташуванням джерела нагріву [4].

Зниження інтенсивності навантаження зубів фрези в умовах ПМФ дозволяє ефективно застосовувати безвольфрамові тверді сплави типу КНТ16 і ТН20, зазвичай непридатні при чорновому фрезеруванні враховуючи їх підвищену крихкість. Зносостійкість таких сплавів в умовах ПМФ часто не гірше, ніж у сплаву Т15К6.

Висновки та напрямки подальших досліджень. В умовах фрезерування плоских поверхонь як джерело нагрівання доцільно використовувати плазмову дугу, яка сканує по двох координатах в площині подачі, що дозволяє проводити нагрів без оплавлення поверхні заготовки і забезпечує значно кращі умови регулювання величини тепловкладення.

Плазмовий нагрів при торцевому фрезеруванні забезпечує протікання специфічного термічного циклу в матеріалі припуску, в результаті чого знижується твердість оброблюваного матеріалу, відбуваються структурно-фазові перетворення, збільшується пластичність; раціональна температура нагріву припуску для середньолегованих сталей і титанових сплавів становить 250 ... 400 °С.

Зміна механічних властивостей припуску важкооброблюваних матеріалів, що відбулося внаслідок плазмового впливу, призводить до зниження питомих навантажень на ріжучий клин, до зменшення інтенсивності крихкого руйнування ріжучого леза і його округлення внаслідок ослаблення адгезійної взаємодії інструментального і оброблюваного матеріалів.

Найбільш раціональним є попутне ПМТФ з нагріванням припуску по всій ширині фрезерування, що створює сприятливі умови роботи ріжучого леза на всьому протязі довжини контакту зуба фрези із заготовкою. Нагрівання скануючою плазмовою дугою ділянки входу ріжучого клина в заготовку не дозволяє знизити інтенсивності округлення ріжучого леза, що призводить до погіршення умов силового навантаження ріжучого клина і зниження його стійкості.

Список літератури

1. Коротких М.Т., Шатерин М.А., Лаевский Г.Б. Плазменно-механическое фрезерование труднообработываемых материалов. – Л.: ЛДНТП, 1988. – 24 с.
2. Шатерин М.А., Коротких М.Т., Нечаев В.П. Плазмотрон для плазменно-механической обработки. – «Сварочное производство», 1986, №8, - с.27, 28.
3. Нечаев В.П., Рязанцев А.А. Особенности тепловых процессов при обработке заготовок с плазменным нагревом. – Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. – Вип.26. Кривий Ріг, 2010. – с.157-160.
4. Шатерин М.А., Коротких М.Т., Нечаев В.П. Плазменно-механическое торцовое фрезерование. – Машиностроитель, 1986, №9.
5. Шатерин М.А., Коротких М.Т. Плазменно-механическое фрезерование фасок на кромках листов из стали 30Х2Н2М. – в сб.: Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. – М.: МДНТП, 1981.

6. Коротких М. Т., Ушомирская Л. А. Особенности применения плазменного нагрева при обработке труднообрабатываемых материалов резанием. – Металлообработка. – СПб. №2 (68) 2012. – с. 23-27.
7. Мрочек Ж. А., Кожуро Л. М., Хейфец М. Л. Плазменно-механическая обработка материалов. – Вестник ГГТУ имени П.О. Сухого. – Гомель, №4 (26) 2006. – с. 44-47.
8. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
9. Подураев В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. М.: Машиностроение, 1977. – 304 с.
10. Нечаев В.П., Позняков И.Н. Структурные превращения в срезаемом слое при плазменно-механической обработке. – «Плазмотехнология»: Сб. науч.тр. – Киев. – 1991. – С. 35-37
11. Кунин В.С. Опыт внедрения плазменно-механической обработки. – Л.: ЛДНТП, 1982. – 28с.
12. Резников А.Н., Резников Л.А. Энергетические расчеты при резании с плазменным подогревом обрабатываемого материала. – Энергомашиностроение, 1981, №11, с. 26-28
13. The PERA «Cutfast» plasma-assisted Hot-machining process. – Engineering Digest (Canada), 1977, 38, №7, p. 17.
14. Вакаса Х. Применение обработки резанием с плазменным подогревом. – Oyo kikai kogau (Mechanical Engineering Application), 1976, т. 17, №3, с. 54-59.
15. Шатуров, Г. Ф. Прогрессивные процессы механической обработки поверхностей / Г. Ф. Шатуров, Ж. А. Мрочек. – Минск : УП «Технопринт», 2001. – С. 460.

Рукопис подано до редакції 13.04.2018

УДК 331.452

Т. М. ТАІРОВА, канд. хім. наук, ст. наук. співроб.

ДУ «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці», Київ

ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ СУОП У ХІМІЧНОМУ КОМПЛЕКСІ

Мета. Оцінювання результативності функціонування системи управління охороною праці та її підсистем, формування науково обґрунтованих заходів запобігання виробничому травматизму.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети використано системний підхід та метод комплексного аналізу щорічної статистичної звітності про нещасні випадки за організаційними, технічними та санітарно-гігієнічними причинами їх настання, аналітичний метод визначення ризику аварій на підприємствах хімічного комплексу з використанням програми «IRRAS» та встановлення залежностей функціонування системи охорона праці від показників, що характеризують чинники зовнішнього і внутрішнього середовища на підприємствах хімічного комплексу. Розроблено методику визначення ризику настання нещасних випадків на виробництві з позицій дотримання як працівником, так і роботодавцем нормативних актів з охорони праці, Вивчення поведінки системи управління охороною праці в хімічному комплексі проведено з використанням системного підходу на основі математичної моделі.

Наукова новизна. Побудовано математичну модель системи охорона праці, яка на відміну від існуючих, дозволяє комплексно оцінити результативність функціонування системи охорона праці з урахуванням результативності функціонування усіх її підсистем, та визначити той чинник який найбільшим чином впливає на її результативність.

Практична значимість. Отримані результати дозволяють розробляти для хімічного комплексу науково-обґрунтовані управлінські рішення та найбільш ефективні заходи, які ґрунтуються на комплексному оцінюванні результативності функціонування СУОП та її підсистеми – системи охорона праці, а їх використання дозволять запобігати небезпечним ситуаціям, аваріям та виробничому травматизму у хімічному комплексі.

Результати. Проведено комплексний аналіз результативності функціонування кожної підсистеми системи охорона праці, визначено узагальненні або найбільш впливові показники для їх оцінювання, кількісно оцінено ризик настання небезпечних ситуацій та нещасних випадків на виробництві на основі програми «IRRAS» та розробленої методики, в основу якої покладено складне групування статистичних даних щодо порушень вимог НПАОП для основних учасників трудового процесу - працівника і роботодавця.

Ключові слова: СУОП, виробничий травматизм, система охорона праці, внутрішні та зовнішні чинники, математичне моделювання, хімічний комплекс.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-153-160

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Небезпечні ситуації та аварії на підприємствах хімічного комплексу супроводжуються не тільки травмуванням працівників, але можуть стати причиною хімічного зараження місцевості та приземного шару повітря, що несе реальну загрозу життю і здоров'ю населення, яке проживає на прилеглий до підприємства території, та призводити до забруднення навколишнього середовища. Для вирішення цієї проблеми кожна країна має свої підходи, що залежать від багатьох обставин і тісно

пов'язані з рівнем індустріалізації країни, яка характеризується широким використанням інформаційної техніки і технологій, концентрацією виробництва та значними змінами в організації та управлінні виробництвом.

Переважає більшість підприємств хімічної, нафтохімічної та нафтопереробної промисловості в Україні (далі – хімічний комплекс), є реальною загрозою настання надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру оскільки на них знаходяться як об'єкти підвищеної небезпеки (ОПН), так і потенційно небезпечні об'єкти (ПНО), на яких використовуються, виготовляються та зберігаються одна або кілька небезпечних речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлену порогову масу та які є реальною загрозою настання надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру. Небезпечні ситуації на підприємствах хімічного комплексу супроводжуються не тільки травмуванням працівників, але можуть стати причиною хімічного зараження місцевості та приземного шару повітря, що несе реальну загрозу життю і здоров'ю населення, яке проживає на прилеглий території. Такими є переважна більшість підприємств хімічного комплексу [1]. За оцінками експертів, ресурсне зношення технологічного обладнання в Україні складає від 60 % до 80 %, а дефіцит інвестицій практично блокує процес оновлення основних фондів. Зазначене відбивається на рівні технологічної, виробничої і трудової дисципліни на підприємствах хімічного комплексу, на деяких з них відмічається безвідповідальне ставлення керівників підприємств і виробничого персоналу до виконання посадових обов'язків та дотримання нормативно-правових актів з охорони праці, що свідчить, перш за все, про низький рівень результативності системи управління охороною праці на підприємствах хімічного комплексу.

Значні економічні наслідки нещасних випадків на виробництві, які, в основному, викликані ушкодженням здоров'я або смертю працівника, а також супутніми виробничими витратами та пов'язані із зниженням рівня продуктивності праці, медичними та юридичними витратами тощо, викликають стурбованість громадськості, науковців, підприємців. За узагальненою модельною оцінкою МОП кожна розвинена країна світу щорічно втрачає в результаті нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань більше ніж 4 % свого ВВП. Мінімальний обсяг втрат від виробничого травматизму та профзахворюваності в Україні, визначений за вищезазначеною модельною оцінкою МОП за показниками ВВП 2014–2016 рр., в середньому становив щонайменше 4 млрд грн. щорічно. Одним із пріоритетних завдань у галузі охорони праці є зменшення зазначених втрат шляхом розроблення наукових засад запобігання виробничому травматизму.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання результативності СУОП, безпеки праці, аналізу нещасних випадків і аварій на підприємствах хімічного комплексу, дослідження ризику травмування працівників на ОПН і ПНО у різних аспектах життєдіяльності детально розглядали науковці різних країн, серед яких зазначимо праці L. Korzeniowski [2, 3], L. Hofreiter [4], М. В. Лісанова [5], В. В. Бегуна [6, 7], В. В. Березуцького [8] та ін. Проте у наукових працях майже не приділялась увага питанням оцінювання результативності функціонування СУОП і розробленню заходів щодо її підвищення, підвищенню рівня дотримання роботодавцями та працівниками нормативних актів з охорони праці, недотримання яких є основною причиною надзвичайних ситуацій на підприємствах хімічного комплексу. До цього часу в Україні відсутні методики та критерії кількісного оцінювання стану дотримання роботодавцем і працівником вимог законодавчих і нормативних актів з охорони праці та визначення ризику настання нещасних випадків на виробництві через дії або бездіяльність вищезазначених осіб. Законодавством України не тільки не передбачено види відповідальності роботодавця (дисциплінарна, санкції у вигляді штрафу тощо) за невиконання зазначених вимог, але і відсутнє однозначне визначення поняття роботодавця в Законі України «Про охорону праці» [9].

Недотримання та нехтування працівниками та роботодавцями вимог законодавчих і нормативно-правових актів з охорони праці є основною причиною надзвичайних ситуацій техногенного характеру та нещасних випадків на підприємствах. Прикладом однієї з них є надзвичайна ситуація техногенного характеру на території підприємства з виробництва органічних і неорганічних хімічних речовин під Києвом, що сталася через порушення роботодавцем і працівниками нормативних актів з охорони праці та призвела до вибуху на об'єкті перероблення, транспортування та зберігання легкозаймистих, горючих і вибухових речовин, який супроводжувався викидом небезпечних речовин і розвитком пожежі. Внаслідок аварії загинули та були тяжко

травмовані працівники підприємства, сталися небезпечні деструкційні зміни умов навколишнього середовища локального масштабу [10, 11].

Основною причиною надзвичайних ситуацій, які стаються на підприємствах хімічного комплексу, є сукупність організаційних і технічних причин, порушення вимог яких стало можливим через відсутність або низький рівень результативності функціонування наявної на підприємстві СУОП. До цього часу науковці досліджували та оцінювали СУОП як єдиний об'єкт, а заходи, що розроблялись та пропонувались для підвищення результативності її функціонування, були недостатньо ефективними.

З метою пошуку шляхів підвищення результативності СУОП, зниження рівня виробничого травматизму і розроблення інструментарію прийняття управлінських рішень як на рівні підприємства, так і на рівні держави, ведуться дослідження, спрямовані на визначення впливу на рівень виробничого травматизму шкідливих та небезпечних чинників, державного управління з охорони праці, стану нормативно-правового забезпечення. Значна увага фахівців приділяється аналізу проблем та перспективам поліпшення функціонування системного менеджменту з охорони праці на підприємствах країни, тобто проблемі удосконалення системи управління охороною праці. Зазначені питання знайшли відображення у роботах таких авторів як Г. Г. Гогіташвілі [12], Г. Г. Лесенка [13].

Віддаючи належне науковим напрацюванням з цієї проблематики, слід зауважити, що дослідження проводились у декількох окремих напрямках, які перш за все стосувались вузьких питань конкретного підприємства, технологічного процесу або обладнання, яке мало конструктивні недоліки або морально застаріло, вичерпало передбачений паспорт ресурс, але до цього часу ще експлуатується. При цьому спроби вирішити проблемні питання технічного та організаційного спрямування не давали бажаних суттєвих результатів, оскільки всі вони були спрямовані на подолання проблемних питань охорони праці на конкретному підприємстві, в одній окремо взятій галузі, а їх результати практично не позначались на рівні виробничого травматизму в країні в цілому. В контексті зазначеного актуальною науковою задачею є створення математичної моделі системи охорона праці. Результати розробки мають бути покладені в основу розроблення наукових засад підвищення результативності СУОП, що дозволить знизити імовірність техногенних ситуацій та виробничого травматизму. До речі, огляд наукових джерел свідчить не тільки про відсутність оцінювання результативності СУОП як цілісного утворення, що складається з окремих підсистем та елементів, а і про те, що навіть можливість такого оцінювання не припускалась.

Постановка завдання. Метою цієї роботи є оцінювання результативності функціонування системи управління охороною праці та її підсистем, формування науково обґрунтованих заходів запобігання виробничому травматизму на основі використання системного підходу та математичного моделювання.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання:

визначити теоретичні і методичні положення дослідження охорони праці як складної динамічної системи, виявити проблеми її розвитку та сформулювати показники її оцінювання;

виявити закономірності впливу чинників зовнішнього і внутрішнього середовища на функціонування системи охорона праці;

побудувати математичну модель системи охорона праці, яка встановлює аналітичні залежності функціонування системи охорона праці від показників, що характеризують чинники зовнішнього і внутрішнього середовища для хімічної галузі;

сформулювати науково-обґрунтовані заходи запобігання виробничому травматизму на основі результатів оцінювання функціонування системи охорона праці.

Викладення основного матеріалу дослідження. Система управління охороною (СУОП) праці є складовою частиною загальної системи управління на будь-якому рівні та являє собою упорядковану сукупність підсистем (елементів), між якими існує закономірний зв'язок і взаємодія. СУОП, як і будь-яка система управління, передбачає наявність як керованої системи – об'єкта управління, тобто системи охорона праці, так і суб'єкта управління – керуючої системи, що має забезпечувати нормальний режим роботи підсистем об'єкта управління в умовах впливу зовнішнього середовища [14].

Для дослідження систем використовується системний підхід, тобто особлива методологія (комплекс методів), відповідно до якої будь-яке явище має розглядатись як цілісність – складна

взаємодія частин, що має властивості відсутні у кожної з частин окремо. При цьому щодо навколишнього середовища система виступає одночасно і як єдине ціле, і як безліч елементів.

Аналіз наукових досліджень з питань оцінювання СУОП на підприємствах хімічного комплексу свідчить про низький рівень результативності її функціонування. Основною проблемою низького рівня результативності СУОП є те, що до цього часу однозначно не визначено критерії оцінювання як результативності її функціонування, так і результативності функціонування її підсистем, хоча цим питанням має приділятися значна увага. Розглядаючи питання результативності функціонування СУОП на підприємствах, Г. Г. Лесенко із співавторами запропонував оцінювати СУОП за сукупністю критеріїв, які умовно були поділені на дві групи [13] :

показники, що характеризують результативність системи та відображаються через кінцеві результати функціонування СУОП, а саме: показники зниження рівня виробничого травматизму та профзахворювань, кількість обладнання, будівель, технологічних процесів, що не відповідає нормативним актам з охорони праці, тощо;

кількісно-якісні показники, що використовуються як обмеження практичного діапазону критеріїв оцінки результативності функціонування СУОП.

Автори вважали, що для аналізу результативності функціонування СУОП варто залучати якомога більшу кількість показників та вибирати серед них такі, що більшою мірою відображають результативність функціонування СУОП на підприємстві.

Значення вихідних показників визначали у тестовому режимі, наприклад, за наявності документів системі присвоюється значення 1, а за відсутності – 0.

Результативність функціонування СУОП автори визначали за формулою

$$E = \Phi \cdot \sum_{i=1}^9 (K_i \cdot P_i), \quad (1)$$

де Φ – ваговий коефіцієнт, що враховує порушення вимог щодо дії основних функцій в системі управління охороною праці

$$\Phi = (\Phi_d + \Phi_n + \Phi_z + \Phi_l + \Phi_p + \Phi_o + \Phi_b + \Phi_n + \Phi_k + \Phi_c) / 10, \quad (2)$$

де $K_1 \dots K_9$ – умовні вагові коефіцієнти впливу основних завдань системи управління охороною праці на результативність СУОП; $P_1 \dots P_9$ – коефіцієнти, що характеризують стан умов та охорони праці на підприємстві.

Для визначення рівня результативності функціонування СУОП було запропоновано шкалу від 0 до 1, відповідно до якої найвищий рівень результативності знаходиться в межах від 0,9 до 1 [13].

Виходячи з викладеного, науковці досліджували СУОП як цілісний об'єкт, не беручи до уваги те, що система управління охороною праці, як і кожна система управління, складається з двох підсистем: керуючої (керуючий орган) та керованої (система охорона праці). При цьому не враховувався той факт, що для прийняття управлінського рішення керуюча система має володіти не тільки інформацією щодо результативності функціонування технічної підсистеми, а і усіх підсистем системи охорона праці, які до цього часу не аналізувались та не досліджувались. Таким чином, дослідження з оцінювання результативності функціонування системи управління охороною праці не тільки не втрачають актуальності, але і потребують нового підходу.

Відомо, що на функціонування СУОП впливають чинники зовнішнього середовища, які є джерелом забезпечення системи ресурсами, необхідними для підтримання її внутрішнього потенціалу на необхідному рівні для досягнення цілей, та умовно поділяються на чинники зовнішнього середовища прямого і непрямого (опосередкованого) впливу. Зовнішнє середовище прямого впливу включає елементи, що безпосередньо впливають на стан системи охорона праці, як то закони, нормативно-правові акти, державні установи (наглядова діяльність з охорони праці) тощо. Чинники зовнішнього середовища непрямого (опосередкованого) впливу визначають напрями процесів у економіці, формують загальні тенденції розвитку галузі на віддалену перспективу. Основним змістом керуючої системи є переведення керованої системи з одного стану в інший відповідно до поставленої мети. Підставою для прийняття управлінського рішення є результати оцінювання результативності функціонування керованої системи з урахуванням змін, що відбуваються в об'єкті управління при зміні чинників зовнішнього середовища, тобто параметрів вхідних впливів та реакції об'єкта на ці впливи. На кожному рівні управління стан системи охорона праці (стан її підсистем, елементів підсистем та ін.) визначається значеннями характеристичних параметрів складових її елементів та їх похідних. Перехід сис-

теми з одного стану в інший характеризується зміною значень параметрів та їх похідних у часі та просторі.

Розглядаючи систему охорона праці як складну динамічну систему, яка змінюється у часі, доцільно виконати модельні дослідження та оцінити результативність функціонування кожної з її підсистем, встановити взаємозв'язок у часі між показниками виробничого травматизму та узагальненими показниками, що інтегрально характеризують кожну підсистему системи охорона праці. Формальна модель функціонування динамічної системи охорона праці (S) має узагальнений вид (3)

$$S = (X_1, X_2, X_3, Y, F, Z(t), K, T), \quad (3)$$

де X_1, X_3 – множина вхідних змінних, тобто множина показників, за якими оцінюється зовнішні впливи; (X_1 – множина вхідних змінних, тобто множина показників, за якими оцінюється стан соціально-економічного розвитку країни або галузі, та X_3 – множина вхідних змінних, за якими оцінюється стан державного управління з охорони праці (наглядова діяльність з охорони праці); X_2 – множина показників, за якими оцінюється стан внутрішнього середовища, організаційна, технічна та санітарно-гігієнічна складова системи охорона праці; Y – множина вихідних змінних, за якими оцінюється стан та функціонування системи охорона праці; F – множина обмежень; K – критерії вибору; $Z(t)$ – функція станів; T – період.

Економічна підсистема системи охорона праці у хімічному комплексі оцінюється індексом виробленої продукції. Технічна підсистема системи охорона праці характеризується станом справності обладнання, яке використовується на підприємствах хімічного комплексу, та оцінюється діями або бездіяльністю роботодавця щодо його забезпечення. Динаміку змін індексу виробленої хімічної продукції та показників, що характеризують технічну підсистему охорона праці представлено на (рис. 1).

Для оцінювання ризику настання нещасних випадків, у тому числі з технічних причин, на підприємствах хімічного комплексу розроблено спеціальну методику з опосередкованого оцінювання технічної підсистеми (технічного стану обладнання, технічних процесів та будівель) через рівень дотримання роботодавцем нормативних актів з охорони праці. Використання зазначеної методики, дозволяє не тільки кількісно визначати ризик настання проблемної ситуації на підприємствах хімічного комплексу, але і розробляти не узагальнені управлінські рішення, а ті, що мають бути спрямовані безпосередньо на ту особу (роботодавця), яка відповідає за технічний стан обладнання. Адже відповідно до ст. 13 Закону України «Про охорону праці» обов'язки щодо створення та забезпечення належного технічного стану робочого місця в кожному структурному підрозділі покладено на роботодавця.

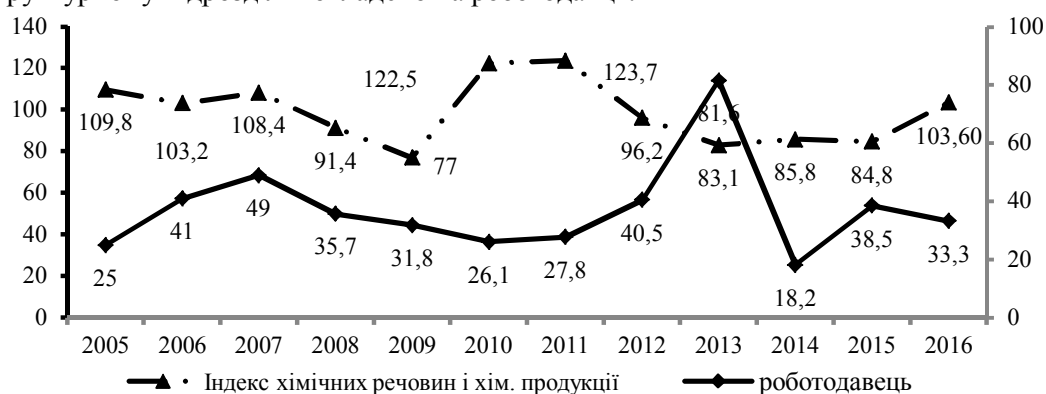


Рис. 1. Динаміка змін показників, що характеризують підсистеми система охорона праці

Визначений за вищевказаною методикою ризик нещасних випадків через незадовільний технічний стан робочого місця на підприємствах хімічного комплексу виявився найвищим серед показників ризику в інших галузях діяльності та становив $2,5 \cdot 10^{-4}$ (рис. 2). До відома, максимально прийнятний рівень індивідуального ризику загибелі людини, дорівнює 10^{-6} .

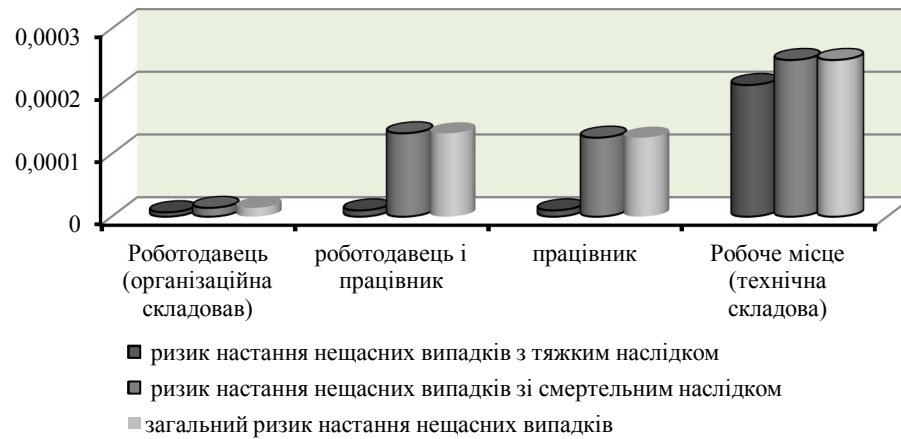


Рис. 2. Ризик настання нещасних випадків на виробництві на підприємствах хімічного комплексу

Порівняльну динаміку рівня ризику настання нещасних випадків з тяжкими та смертельним наслідками на підприємствах хімічного комплексу через невиконання працівниками або роботодавцями нормативних актів з охорони праці наведено на рис. 2. Аналіз кількісних характеристик ризику дозволяє однозначно стверджувати, що на підприємствах хімічного комплексу роботодавець не дотримується вимог законодавчих і нормативних актів з охорони праці з питань створення безпечних умов праці. Результати визначення ризику настання небезпечної події через недотримання роботодавцем нормативних актів з охорони праці, отримані за розробленою автором методикою, співпадають з результатами попередніх досліджень автора щодо кількісної оцінки ризику настання аварій, зокрема на об'єктах підвищеної небезпеки нафтопереробного підприємства (ОПН) [15].

Результати розрахунку дерева відмов «RRAZ» (рис. 3), які проводились за допомогою програми «IRRAS» показали, що імовірність утворення хмари парів нафтопродуктів при розгерметизації резервуару з подальшим повним його руйнуванням і розливом нафти становить $P_2 = 1,581 \times 10^{-4}$, а за розробленою автором методикою ймовірність розгерметизації резервуару або інші проміжні події, пов'язані з технічними несправностями обладнання та викидом небезпечних речовин – $P_2 = 2,5 \times 10^{-4}$.

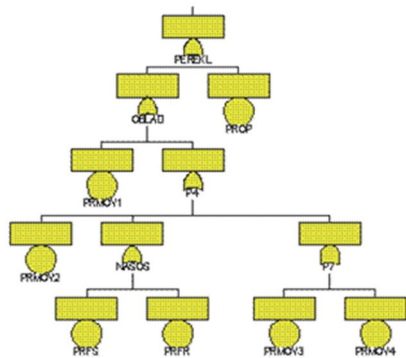


Рис. 3. Дерево відмов «RRAZ»

Для оцінювання результативності СУОП на підприємствах хімічного комплексу розроблено математичну модель системи охорона праці (4), яка відображає закономірності змін коефіцієнта тяжкості виробничого травматизму від змін чинників зовнішнього і внутрішнього середовища та дозволяє проводити оцінку результативності СУОП[16].

З урахуванням стану всіх підсистем математичну модель системи охорона праці для хімічного комплексу з позицій дотримання як роботодавцем, так і працівником нормативних актів з охорони праці представлено в узагальненому вигляді рівнянням (4), а працівника – рівнянням (5)

$$Y = 21,89 + 0,01126 X_1^2 - 1,1274 X_1 + 0,0219 X_{2R}^2 - 0,8754 X_{2R} + 0,0397 X_{3R}^2 - 0,8338 X_{3R} - 0,0001 X_1 X_{2R}^2 + 0,0014 X_1 X_{2R} + 0,0021 X_{2R} X_{3R}^2 - 0,0472 X_{2R} X_{3R} - 0,0003 X_{3R} X_1^2 + 0,0173 X_{3R} X_1, \quad (4)$$

$$Y = 21,89 + 0,0113 X_1^2 - 1,1274 X_1 + 0,0272 X_{2P}^2 - 0,5756 X_{2P} + 0,1359 X_{3P}^2 - 2,2590 X_{3P} - 0,0018 X_1 X_{2P}^2 - 0,0411 X_1 X_{2P} - 0,0038 X_{2P} X_{3P}^2 + 0,0821 X_{2P} X_{3P} - 0,0014 X_{3P} X_1^2 + 0,1111 X_{3P} X_1, \quad (5)$$

де X_1 – узагальнений показник, що характеризує стан економічного розвитку хімічної галузі (індекс виробленої продукції); X_{2R} – узагальнений показник, що характеризує внутрішнє середовище системи охорона праці (технічний, організаційний та санітарно-гігієнічний чинники); X_{2P} – узагальнений показник, що характеризує внутрішнє середовище системи охорона праці (організаційний чинник); X_{3R} – показник, що характеризує стан державного управління

охороною праці, найбільш впливовий показник наглядової діяльності з охорони праці – середній розмір штрафних санкцій на роботодавця, а X_{3p} – середній розмір штрафних санкцій на працівника.

Дослідження результативності функціонування системи охорона праці з використанням математичної моделі дозволяють оцінити стан системи та залежно від його змін вживати заходи випереджального характеру, спрямовані на стабілізацію системи охорона праці, базуючись на значенні показників виробничого травматизму та результатах оцінки впливу проаналізованих чинників на функціонування системи охорона праці. Аналіз математичних моделей функціонування системи охорона праці у хімічному комплексі показав, що із всіх чинників зовнішнього і внутрішнього середовища найбільший вплив на результативну ознаку, тобто на рівень виробничого травматизму, має економічний показник – індекс виробленої продукції, при зростанні значення якого показник виробничого травматизму також має тенденцію до зростання. Для стабілізації системи охорона праці, дестабілізація якої сталась, зокрема у зв'язку із зростанням економічного показника щонайменше на 4,0 % (тобто зростання кількості виробленої продукції на незмінній технічній та технологічній базі), має бути підвищено значення того показника, який дозволить стабілізувати систему. Таким показником за результатами досліджень є середній розмір штрафних санкцій, накладених на роботодавця.

Висновки та напрям подальших досліджень. Проведеними дослідженнями встановлено, що: вирішення проблеми виробничого травматизму потребує системного підходу до вивчення системи управління охорони праці та її підсистем, зокрема системи охорона праці та побудову математичної моделі системи охорона праці;

визначення впливу на результативність її функціонування чинників зовнішнього та внутрішнього середовища;

оцінювання ризику настання нещасних випадків на виробництві з визначенням осіб чий дії або бездіяльність призводять до їх настання та виокремлення тих чинників, дія яких на систему охорона праці призводить до стабілізації системи;

трансформування отриманих результатів у ефективні заходи підвищення результативності СУОП дозволять запобігати аварійним ситуаціям і виробничому травматизму на підприємствах хімічного комплексу.

Список літератури

1. Про об'єкти підвищеної небезпеки. Закон України в редакції від 26.04.2014 р. № 762-IV.
2. **Korzeniowski F. Leszek.** Menedzment. Podstawy zarzadzania. Krakow, EAS, 2005. 425 str.
3. **Korzeniowski F. Leszek.** Securitologia. Nauka o bezpieczenstwie czlowieka i organizacji spolecznych : Monografia naukowa. Krakow, EAS, 2008. 311 str.
4. **Hofreiter Ladislav, Simko Juraj.** Zdrojea oblasti konfliktov sucasneho sveta. Liptovsky Mikulas, Akademia ozbrojenych sil generala Milana Rastislava Stefanika, 2007.– 95 str.
5. **Лисанов М. В.** Принципы оценки экономического ущерба от промышленных аварий. Экология промышленного производства. 1995. № 6. С. 49.
6. **Бегун В. В.** Впровадження інформаційних технологій у сферу безпеки. Науково-технічна інформація. 2016. № 1. С. 40–46.
7. **Бегун В. В., Науменко І. М.** Безпека життєдіяльності (забезпечення соціальної, техногенної та природної безпеки). Київ, 2004.
8. **Березуцкий В. В.** Теоретические основы безопасности жизнедеятельности : Монография. Харьков : ХГПУ. 1999. 170 с.
9. Про охорону праці : Закон України від 14 жовтня 1992 року N 2695-XII. Відомості Верховної Ради України. 2015, № 21, ст. 133. URL : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2695-12>.
10. **Таїрова Т. М., Коцюба Б. В.** Виробничий травматизм на підприємствах хімічного комплексу: аналіз та шляхи попередження. Інформаційний бюлетень з охорони праці. 2017. № 2. С. 31–39.
11. **Таїрова Т. М., Коцюба Б. В.** Ризик травмування працівників на підприємствах хімічного комплексу. Інформаційний бюлетень з охорони праці. № 2. С. 86–91.
12. Гогіташвілі Г. Г. Системи управління охороною праці. Г. Г. Гогіташвілі Л. : Афіша, 2002. - 320 с.
13. **Лесенко Г. Г.** До питання оцінки ефективності функціонування системи управління охороною праці на підприємстві. Проблеми охорони праці в Україні. Київ : ННДПБОП, 2011, Вип. 20, С. 129–139.
14. **Жежуха В. Й.** Особливості формування керівної та керованої підсистем організації під час діагностики інноваційної складової технологічних процесів : URL : [file:///I:/%D0%A1%D0%A3%D0%9E%D0%9F/VNULPM_2013_769_40%20\(1\)](file:///I:/%D0%A1%D0%A3%D0%9E%D0%9F/VNULPM_2013_769_40%20(1)).
15. **Лесенко Г. Г., Таїрова Т. М.** Кількісна оцінка ризику аварії на об'єкті підвищеної небезпеки. Проблеми охорони праці в Україні : зб. наук. праць. Київ : ННДПБОП, 2007. Вип. 13. С. 43–50.

16. Таїрова Т. М., Ткачук К.Н. Математичне моделювання системи охорона праці. Вісник Криворізького національного університету: зб.наук. праць. – Кривий Ріг: КНУ, 2018. Вип. 46. С. 25–31.

Рукопис подано до редакції 19.03.2018

УДК 622.272

С.В. ПИСЬМЕННЫЙ, канд. техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ ОЧИСТНОГО БЛОКА В НЕУСТОЙЧИВЫХ РУДАХ КРИВОРОЖСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО БАССЕЙНА

Цель. Целью данной работы является повышение железа в добытой рудной массе за счет изменения формы очистной камеры и ее объема путем исследования устойчивых ее параметров при отработке железных руд Криворожского железорудного бассейна в неустойчивых рудах. Это связано с тем, что железные руды Криворожского железорудного бассейна на глубинах более 1350 м. традиционными системами разработки в сложных горно-геологических условиях приводит к повышенным потерям и засорению добытой рудной массы из-за неустойчивого массива железных руд.

Методы исследования. С целью повышения показателей извлечения, предложена идея, основанная на формировании очистной камеры квазипараболической формы, которая позволяет сохранить устойчивость очистной камеры на весь период отработки. Устойчивость очистной камеры обеспечивается оптимальным соотношением ее высоты к ширине и радиусов вертикального и горизонтального обнажений согласно гипотезе Слесарева В.Д. Для определения достоверности результатов исследований использовался метод конечных элементов и утвержденной методики для определения конструктивных элементов системы разработки.

Научная новизна. Установлено, что максимальное давление зависит от угла приложенной нагрузки к контуру очистной камеры и физико-механических свойств горных пород окружающих ее, который влияет на радиусы вертикального и горизонтального обнажений. Впервые установлены, зависимости ширины очистной камеры и ее высоты от радиуса вертикального обнажения, при которых очистная камера является устойчивой на весь период отработки блока.

Практическая значимость. Разработана методика по определению параметров очистной камеры квазипараболической формы, которая позволяет определить устойчивые параметры очистной камеры. Также определена величина максимального разрушающего давления на контуре очистной камеры квазипараболической формы.

Результаты. Установлено, что увеличить объем добытой чистой руды из блока на 20% возможно за счет изменения очистной камеры квазипараболической формы при отработке неустойчивых железных руд.

Ключевые слова: руда, очистная камера, обнажение, устойчивость, радиус, нагрузка, рудная масса, свод.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-160-165

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В Криворожском железорудном бассейне сосредоточено значительное количество запасов природно-богатых и природно-бедных руд, которые в настоящее время разрабатываются открытым и подземным способами. Подземные горные работы в условиях отработки железных руд Криворожского бассейна приближаются к уровню предельной глубины подъема 1500-1700 м (первая ступень вскрытия), а открытые – к проектному контуру карьера. Для дальнейшего успешного функционирования горных предприятий с подземным способом разработки необходимо выполнить модернизацию и техническое переоснащение подъема, вентиляции, систем разработки и способов вскрытия.

С целью остаться на мировом рынке перед горнорудными предприятиями стоит вопрос о повышении содержания полезного компонента в добытой горной массе. В связи с этим, горнорудные предприятия увеличивают минимальное бортовое содержание железа в массиве с 46 до 52% при добыче подземным способом. Повышение минимального бортового содержания железа в массиве на 2-6% приведет к снижению балансовых запасов железных руд до 30-40% [1-3].

Анализ исследований и публикаций. За последние 20 лет почти в два раза снизились объемы добычи железной руды в Криворожском бассейне, на 10-15 млн т в год. Это связано с консервацией шахт в промышленном регионе, а также из-за ухудшения горно-геологических и горнотехнических условий. Все эти факторы способствуют к оставлению значительных запасов железных руд в недрах Земли перспективных к отработке открыто-подземным и подземным способами.

Ведущие научно-исследовательские и проектные институты активно ведут работы по технологическому прогнозированию особенностей добычи полезного ископаемого в горнорудных регионах, а также совершенствование технологии подземной разработки. Ими были разработаны высоко-производительные и эффективные системы разработки при отработке месторождений как природно-бедных так и природно-богатых руд в устойчивых и неустойчивых породах. Однако, показатели извлечения добытой чистой руды из блока не превышают 30-60%. Успехи, достигнутые в вопросах повышения качества железорудного сырья, позволили значительно улучшить эффективность обогащения железных руд в высоко градиентных магнитных полях, при этом увеличивается себестоимость добычи, а также отчуждение земельных угодий под хвосты.

При отработке запасов железных руд в устойчивых породах всяческого бока и средней устойчивости руд, широкое применение нашла этажно-камерная система разработки с обрушением целиков. Данная система разработки позволяет извлекать камерный запас без дополнительного засорения руды. Для предотвращения засорения камерных запасов оставляют рудный "треугольник" (потолочину), поддерживающий породы всяческого бока.

Достоинствами этажно-камерной системы являются: получение большого количества чистого полезного ископаемого (до 60%), и четкое разделение потока чистой руды из камеры и разубоженной руды из целиков, малый удельный объем нарезных работ. К недостаткам можно отнести следующее: двухстадийность выемки запасов, наличие большого объема незаполненных пустот, значительные потери и засорение руды при обрушении целиков, большие затраты на поддержание выработок в породах лежащего бока из-за длительного срока их службы, ограниченные условия применения [4-6]. С целью уменьшения засорения руды при отработке междуканальных целиков и потолочин применяют подэтажно-камерную систему разработки которая позволяет снизить потери руды на 0,5-1,2% и засорение на 1,5-2,5%. При этом, увеличивается удельный объем подготовительно-нарезных работ с 1,9-3,0 до 2,5-4,5, а количество чистой неразубоженной руды не превышает 60%.

Постановка задачи. С целью увеличения количества чистой руды при обработке очистных блоков в неустойчивых породах необходимо увеличить объем очистной камеры за счет изменения ее формы и обоснования устойчивых ее конструктивных элементов.

Изложение материала и результаты. В условиях Криворожского железорудного бассейна повысить содержание полезного компонента в добытой рудной массе возможно, за счет, применения процессов обогащения на подземных горных работах, селективной выемки или увеличить объем очистной камеры.

Обогащение добытой рудной массы на обогатительных фабриках приводит к значительному повышению содержания железа в добытой рудной массе с 58 до 65%, при этом, увеличивается себестоимость добычи, а как следствие нарушение экологической ситуации в регионе. Селективная разработка при использовании существующих технологий снизит годовую производительность подземного рудника, из-за сортировки добытой рудной массы по качеству, а также выдачи ее по одному главному стволу. Для эффективной реализации селективной выемки необходимо строительство дополнительных главных стволов, что также приведет к увеличению себестоимости добычи в первые 5 лет и как следствие потеря мирового рынка сбыта. Увеличение объема очистной камеры на 20% согласно расчетов по методике НИГРИ вызовет необходимость увеличивать ширину междуканальных целиков в 1,5-2,5 раза, что приведет к увеличению потерь руды.

Таким образом, увеличить объем очистной возможно за счет изменения ее формы с прямоугольной (традиционной) на квазипараболическую форму, рис. 1 [7-9].

Как видно с рис.1 кривая KLM представляет собой параболу и описывается следующим интегральным выражением

$$y = -c \int (x^{2k-1} dx) / \sqrt{(b^2 - x^2)^r}, \quad (1)$$

Координаты плавно огибающей кривой *MBL*, рис. 1, имеющей форму эллипса соответствующего параболическому своду определяют по формуле (1). При изменении значений x от 0 до b кривая функции убывает, а первая производная имеет вид [7]

$$y' = c \cdot x^{2k-1} / \sqrt{(b^2 - x^2)^r}, \quad k > 0,5; 0 < r < 2, \quad (2)$$

где c, κ – действительные числа; r – наименьшее нечетное действительное число.

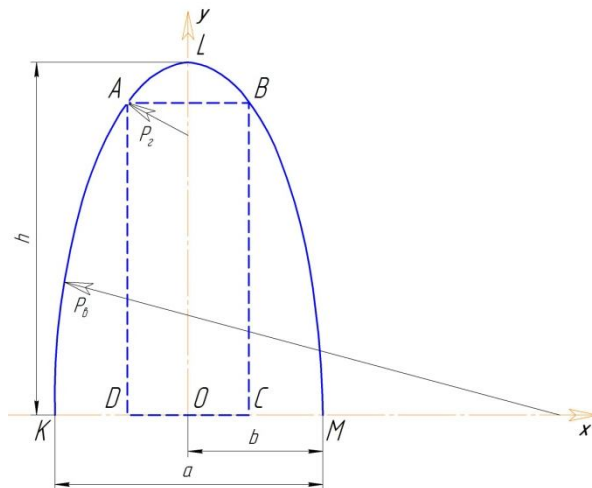


Рис. 1. Расчетная схема к определению очистной камеры параболической формы

Параметры очистной камеры параболической формы, исходя из параболического закона сводообразования, максимально приближены к предельно-допустимому контуру устойчивого равновесия и определяются [9]

$$\begin{cases} \sigma^2 = 2 \cdot P_z \cdot h, \\ h^2 = 2 \cdot P_6 \cdot \sigma, \end{cases} \quad (3)$$

где h и b – вертикальная и горизонтальная полуоси кривой, м; P_z, P_6 – радиусы максимально-допустимого устойчивого соответственно горизонтального и вертикального обнажений

очистной камеры параболической формы, м (согласно опытно-промышленным испытаниям для условий Криворожского железорудного бассейна составляют $P_z = 1-6$ м, $P_6 = 30-90$ м).

После соответствующих преобразований формулы (4), задаваясь соотношением высоты к ширине очистной камеры радиус вертикального устойчивого обнажения определяется

$$\frac{h}{2b} = \frac{2 \cdot \sqrt[3]{P_z \cdot P_6^2}}{2 \cdot \sqrt[3]{P_z^2 \cdot P_6}} \Rightarrow \left(\frac{h}{a}\right)^3 = \frac{8 \cdot P_z \cdot P_6^2}{P_z^2 \cdot P_6}, \quad (4)$$

а выполнив соответствующие преобразования и выразив выражение (4) через радиус вертикального обнажения, получим окончательное выражение

$$h/a = \sqrt[3]{8 \cdot P_6 / P_z}. \quad (5)$$

Выполнив расчеты по формуле (3), построены зависимости ширины и высоты очистной камеры квазипараболической формы от радиусов горизонтального и вертикального обнажений приближенных к максимально-допустимому устойчивому равновесию, рис.2, 3.

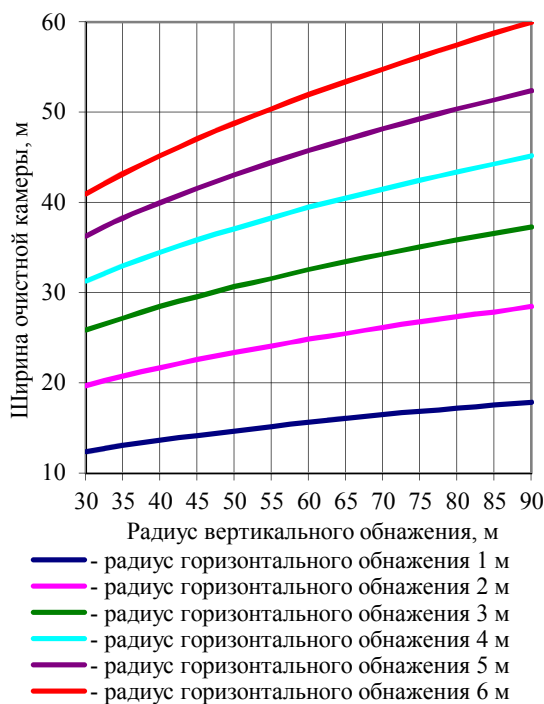


Рис. 2. Зависимости изменения ширины очистной камеры от радиуса вертикального обнажений

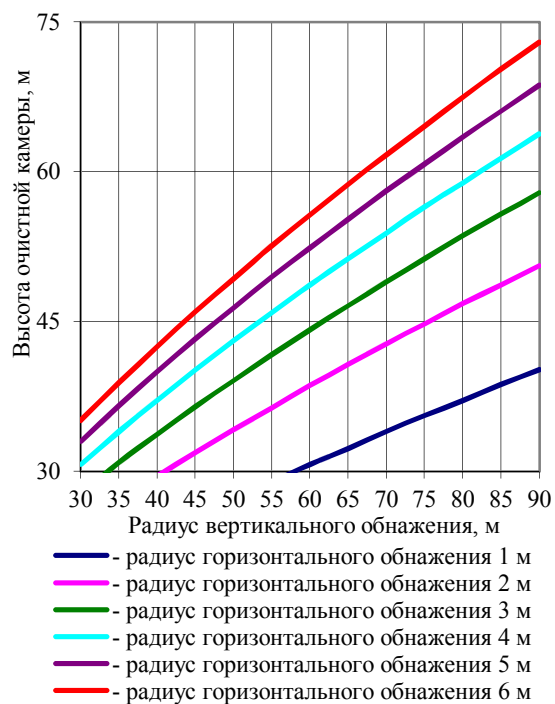


Рис. 3. Зависимости изменения высоты очистной камеры от радиуса вертикального и горизонтального обнажений

Из приведенных графиков видно, что ширина очистной камеры изменяется от 12,5 до 60 м, а высота камеры от 38 до 145 м с изменением горизонтального радиуса обнажения от 1 до 6 м и

вертикального от 30 до 90 м. Объем очистной камеры квазипараболической формы зависит от кривой образующей ее. Подставляя входящие величины в выражение (4), текущие координаты кривой образующей очистную камеру определяются выражениями

Объем очистной камеры параболической формы KLM (см. рис. 1), в диапазоне $-b < x < b$ из условия устойчивости определяется интегральным выражением [7-9]

$$V_{к.к} = \pm L_{к.к} \cdot \int_{-b}^b \int_{-b}^b \left(2 \cdot \sqrt[3]{P_z \cdot P_g} \right) \cdot 4 \sqrt{\left(1 - x^2 dx / 4 \cdot \left(\sqrt[3]{P_z^2 \cdot P_g} \right)^2 \right)^3} dy, \quad (6)$$

где V – объем компенсационной камеры параболической формы, m^3 ; L – длина компенсационной камеры, м.

Однако, горный массив не является однородным, поэтому необходимо определить насколько будет подвержена очистная камера разрушению от места заложения ее в горной массиве.

Согласно выполненным исследованиям [10-13] было установлено, что разрушающее давление создаваемое на контуре очистной камеры зависит от угла приложенной нагрузки, физико-механических свойств горных пород окружающих ее и определяется по формуле

$$P_{к.г} = \pm \frac{r \cdot \tau_0 \cdot \sin \delta}{\sin 2\delta - r^2 \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \rho}, \quad (7)$$

где r – расстояние от центра выработки к элементарному объему, м; τ_0 – начальное сопротивление сдвигу, t/m^2 ; δ – угол, под которым действует нагрузка на контур выработки, град.; β – угол сдвижения горных пород, град.; ρ – угол внутреннего трения пород, град.

Если разрушающее давление, определенное по формуле (7), больше нормальных напряжений создаваемых горными породами в массиве, то выработка будет устойчивой. Когда значения нормальных напряжений в массиве горных пород будет больше разрушающего давления, то выработка будет подвержена деформациям.

После преобразований формулы (7) радиусы вертикального и горизонтального криволинейных обнажений, которые обеспечивают камере квазипараболической форме устойчивость от действия главных вертикальных и горизонтальных напряжений на контуре выработки определяются по формуле

$$P_g = \sqrt{\frac{\sigma_3}{\cos \beta \cdot \operatorname{tg} \rho}}, P_z = \frac{\sigma_3 \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \rho}{[\sigma_{сж}]}, \quad (4)$$

где $[\sigma_{сж}]$ – предел прочности пород на сжатие, t/m^2 .

С помощью программного комплекса ANSYS были выполнены исследования распределения эквивалентных напряжений вокруг выработок прямоугольной и параболической форм с целью определения их устойчивости, рис. 4.

Исходными данными для расчетов были следующие: удельный вес пород $2800 \text{ кг} / m^3$; предел прочности на сжатие 60 МПа ; предел прочности на растяжение 9 МПа ; модуль Юнга 50000 МПа ; коэффициент Пуассона $0,23$; площадь поперечного пересечения камеры 1970 м^2 ; глубина разработки 1200 м . Параметры для очистной камеры прямоугольной формы принимались следующие: ширина 33 м , высота 60 м ; для камеры параболической формы: радиус вертикального обнажения $77,5 \text{ м}$, а горизонтального 3 м .

Устойчивые параметры очистной камеры определялись по методике [14] согласно заданных горно-геологических условий месторождения из выражения

Фактические значения между эквивалентными пролетами обнажений в камере и их размерами для горизонтального обнажения рудного массива в камере определялись по формуле

$$m_z = \frac{a \times M_z}{\sqrt{a^2 + M_z^2}}. \quad (5)$$

Анализируя расчетные данные (рис. 4) установлено, что на контуре очистной камеры в средней части действуют сжимающие напряжения, которые отличаются не более чем на $3,45\%$. Следует заметить, что в верхней части очистной камеры прямоугольной формы действуют растягивающие напряжения, а при формировании выработки квазипараболической формы сжимающие.

Таким образом, на основании выполненных исследований установлено, что увеличить объем чистой руды с блока на 20% при отработке неустойчивых рудных залежей системами с массовым обрушением руды и налегающих пород без увеличения потерь руды в целиках, возможно за счет применения очистной камеры квазипараболической формы.

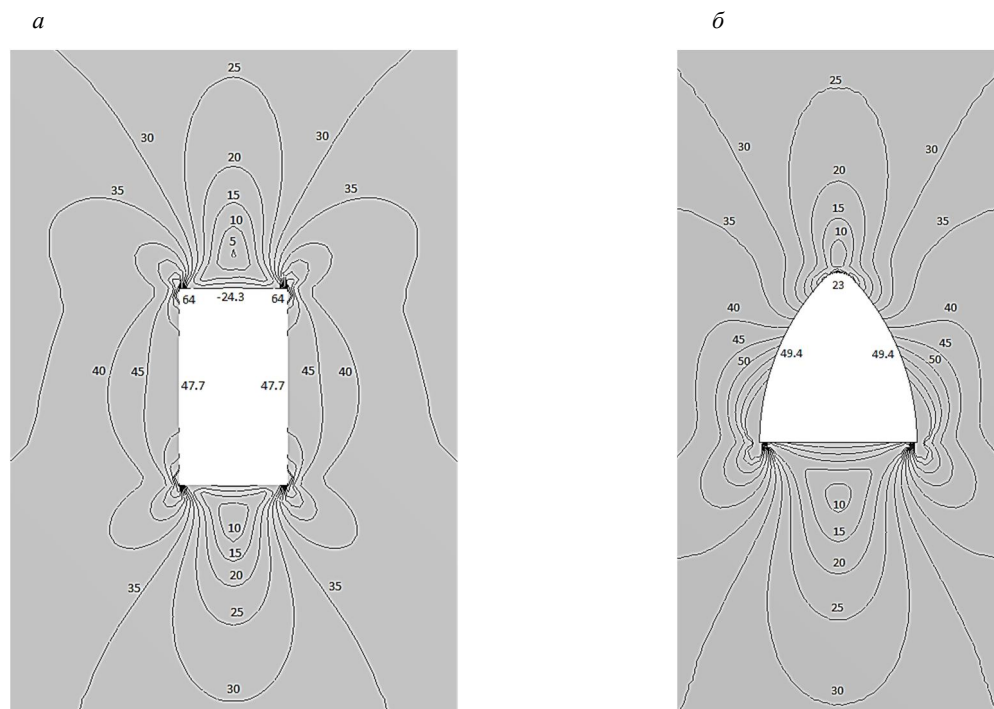


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений вокруг очистной камеры:
а – прямоугольной формы; б – квазипараболической формы

Список литературы

1. Пути совершенствования качества металлургического сырья на шахтах Кривбасса / **В.С.Гирин, Н.К.Кравцов, В.А.Витряк** // Разраб. рудн. месторожд. – Кривой Рог: КТУ. – 2000. – Вып. 70. – С. 10-13.
2. SWOT-анализ ОАО "КЖРК" – залог успешной работы железорудных шахт Кривбасса в условиях глобально-го рынка / **Письменный С.В., Б.Н.Андреев, Бровко Д.В., Кривошеин С.В., Петрик Н.Н.** // Форум гірників 2010: Матеріали між. конф. (21-23 жовтня 2010 р.). – Дніпропетровськ: НГУ, 2010. – С.189-193.
3. Перспективы поддержания производственных мощностей шахт и карьеров Кривбасса/ **Б.Н.Андреев, С.В.Письменный, Д.В.Бровко**// Минск. – 2013. – С.115-120.
4. **Сторчак С.А., Письменный С.В., Сбитнев В.А.** Повышение качества рудной массы при подэтажном обрушении, за счет технологических факторов // Качество минерального сырья. Сборник научных трудов. – Кривой Рог, 2002. – С. 70-74.
5. **Золотарев И.И., Стариков Н.И., Фаустов Г.Т.** Отработка параллельных залежей в условиях Криворожского бассейна // Горный журнал. – 1962. - №6. – С. 19-23.
6. **Абашин П. А., Пикалов А. И., Фаустов Г. Т., Шкребеко Г. С, Говоров А.В.** Исследование устойчивости целиков при отработке параллельных залежей // Горный журнал. – 1974. - №5. – С. 57-59.
7. Пат. 48832А, UA, E21C41/16. Спосіб розробки крутоспадних рудних родовищ, що містять включення пустих порід / **Сторчак С.О., Щелканов В.О., Хівренко О.Я., Чередніченко О.Є., Караманіч Ф.І., Саснко В.К., Хівренко В.О., Сбитнев В.О., Письменный С.В.** № 2001128777; Заявлено 18.12.2001; Опубл. 15.08.2002 р., Бюл. № 8.
8. **Письменный С.В., Хивренко В.О., Сбитнев В.А., Полухина Н.В.** Определение параметров компенсационной камеры сводчатой формы // Разраб. рудн. месторождений. – Кривой Рог: КТУ. – 2002. – Вып. 79. – С. 48-52.
9. **Ступник Н.И., Письменный С.В.** Физическое моделирование формы компенсационных камер при отработке блоков на больших глубинах // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2012. – Вип. 31. – С. 3-7.
10. Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды / **Н.И.Ступник, С.В.Письменный** // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – Вип. 30. – С. 3-7.
11. **Ступник Н.И., Андреев Б.Н., Письменный С.В.** Исследование формы поперечного сечения подземных выработок при комбинированной отработке месторождений // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2012. – Вип. 32. – С. 3-6.
12. **Письменный С.В.** Исследования устойчивости целиков от формы очистной камеры при отработке магнетитовых кварцитов в полях действующих шахт подземным способом// Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2014 – Вип. 36. – С. 9-13.
13. **Ступник Н.И., Письменный С.В.** Повышение качества горной массы при отработке сложноструктурных залежей Криворожского бассейна подземным способом // Качество минерального сырья. Сборник научных трудов. – Кривой Рог, 2014. – С. 19-26.
14. **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.

Рукопись поступила в редакцию 19.04.2018

УДК 622.833

О.М. ШАШЕНКО, д-р техн. наук, проф., Н.В. ХОЗЯЙКІНА, канд. техн., доц.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

О.І. ДУБОВИК, інж.

Державне підприємство «Вугільна компанія «Краснолиманська»

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК НА ШАХТІ «КРАСНОЛИМАНСЬКА»

Мета. Аналіз етапу вугільної галузі як в Україні, так і в світі свідчить про те, що з часом альтернативні джерела енергії замінять теплову генерацію. Період переходу до принципово іншої енергетики за оцінкою спеціалістів становить 30-50 років. За цей час ефективність теплової генерації електричної енергії буде суттєво залежати від собівартості вугілля, що видобувається. Таким чином, обґрунтування параметрів технологій, що забезпечують найбільш економічно доцільний видобуток вугілля є актуальною задачею сьогодення. Одним із таких напрямів технологічного прориву є повторне використання підготовчих виробок. У статті розглянуті різні критерії економічної доцільності такого використання і наведено розрахунок для гірничо-геологічних умов шахти «Краснолиманська».

Методи. Методологія досліджень полягає в чисельному моделюванні стійкості виробки і конструюванні кріплення з набором таких елементів, при яких зміщення контуру виробки не перевищить 0,3-0,4 м. Кожен варіант супроводжується відповідним економічним розрахунком, що дозволяє порівняти вартість спорудження нового штреку з ремонтом повторно використовуваного.

Наукова новизна. Особливістю розрахунків є сукупність аналітичних, і натурних досліджень, що дозволила в гірничо-геологічних умовах шахти «Краснолиманська» обґрунтувати параметри і конструкції кріплення для повторного використання конвеєрного штреку.

Практична значимість. Для вирішення питання актуалізації ресурсозбереження при підготовці виїмкових ділянок, для обґрунтування економічної доцільності повторного використання виробок запропоновані відповідні критерії. Ці критерії включають три умови, що є необхідними для доцільного повторного використання виробок.

У результаті перебору був рекомендований варіант кріплення підготовчої виробки, що включає анкери двох рівнів, податливе кріплення і охоронну смугу.

Результати. Використання рекомендацій, отриманих в результаті досліджень, дозволили отримати економічний ефект 5 314 065 гривень, або 3 640 гривень на 1 м виробки. Тобто, при умові перекріплення і підживки 50 % довжини виробки технічні рішення, що наведені у статті направлені на забезпечення її стійкості, є економічно доцільними.

Ключові слова: гірничо-геологічні умови, конвеєрна виробка, вентиляційний штрек, очисні роботи, економічно доцільний видобуток, критерії економічної доцільності, повторне використання виробок.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-165-169

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Останніми роками світова громадськість все більше уваги приділяє економічним аспектам промислових технологій. Особливий наголос щодо означеної проблеми був зроблений на міжнародному форумі, що відбувся у 2018 році польському місті Катовіце [1, 2]. особливо шкідливим в екологічному плані є тепла генерація електричної енергії, що ґрунтується на спалюванні вугілля. Відзначається, що видобуток вугілля буде скорочуватись внаслідок того, що генерація електроенергії все ширше буде відбуватися за рахунок відновлюваних джерел енергії: сонце, вітер, тепло надр [3-5]. Відбувається цей процес переходу не за короткий проміжок часу. Спеціалісти стверджують, що для цього знадобиться 25-40 років. В час перехідного періоду ефективність теплової генерації електроенергії буде суттєво залежати від собівартості вугілля, що видобувається.

Таким чином, технологічні рішення, що направлені на удосконалення процесу видобутку, збагачення і спалювання вугілля є актуальною проблемою сучасності.

Аналіз досліджень і публікацій. Одним із напрямів удосконалення процесів видобутку вугілля є повторне використання підготовчих виробок, що оконтурюють стовпи, призначені для їх подальшого відпрацювання.

Останніми роками, у зв'язку з актуалізацією напрямку ресурсозбереження при підготовці виїмкових ділянок, для обґрунтування економічної доцільності повторного використання виробок низькою дослідників запропоновані відповідні критерії [6].

У роботах І.М. Поповича [7, 8] у якості критерія пропонується використовувати граничні зміщення контуру виробки, що забезпечують залишковий перетин штреку, достатній для подальшої безпечної експлуатації виробки після першого проходу лави.

При такому підході до оцінки доцільності повторного використання з урахуванням збереження перерізу виробки в межах 60 ... 70% від початкового, зміщення контуру U_0 повинні складати не більше 0,4 м за умови їх приблизно рівномірного наростання в покрівлі, боках і ґрунті.

У роботах О.О. Логунової [9, 10] в якості критерія економічної доцільності повторного використання підготовчої виробки пропонується граничне значення залишкової площі перетину, що більшою мірою відповідає гірничо-геологічними умовами шахт ДП «Селідовугілля» і становить $S_{ост} = 8,5 \text{ м}^2$.

У дослідженнях І.В. Дудки [11, 12] при обґрунтуванні можливості повторного використання виробок в умовах ДП «Антрацит» також розглядається економічна доцільність збереження виробок для повторного використання при стійких породах підшви і значних деформаціях порід в покрівлі і бортах, що викликають необхідність перекріплення виробки. Для розглянутих умов у якості критерія прийнято залишкову площу перетину виїмкових виробок – $S_{ост} = 8,0 \text{ м}^2$.

В роботі Дубовика А.І. [13] в якості критерія економічної доцільності розглядається граничний рівень експлуатаційних витрат, визначення яких сформульовано як задачу про викиди випадкової функції за заданий рівень.

Розглянуті критерії по суті включають три умови, що є необхідними для доцільного повторного використання виробок:

геомеханічна умова – взаємодія елементів кріплення і охорони виробки з породним масивом не повинні призводити до некерованих деформацій приконтурного масиву (наприклад, до перекріплення або систематичним підривам ґрунту);

технологічна умова – площа виробки на сполученні з лавою повинна бути достатньою для розміщення обладнання і безпечного виконання робіт;

економічна умова – сумарні витрати на проведення виробки і додаткові заходи, спрямовані на її збереження не повинні перевищувати вартість проведення нової.

Машуркой С.В. при виборі критерію доцільності повторного використання виробок для умов ШУ «Південнодонбаське № 1» були враховані дані умови з урахуванням специфіки розвитку деформаційних процесів, до яких слід віднести наявність слабких порід, що вміщують в підшви виробки і необхідність їх неодноразової підривання.

Здимання, а також опускання порід покрівлі, призводять до деформацій і руйнування кріплення, викликають необхідність підривання ґрунту і перекріплення виробки. Машуркой при визначенні вартості робіт на спорудження і підтримку виробок для повторного використання допускається, що протягом терміну служби виробки буде потрібно не більше однієї підривки порід підшви ($n \leq 1,0$), а зміщення покрівлі не викликає необхідність перекріплення. Запропонований показник ремонтності P_n , який враховує можливі сумарні зміщення покрівлі і ґрунту і необхідність проведення ремонтних робіт, повинен бути не більше 2,25, що може вважатися критерієм геомеханічної і економічної доцільності повторного використання виробок, закріплених металевою арковою конструкцією кріплення [14, 15].

Постановка задачі. Метою роботи є технологічне і економічне обґрунтування повторного використання виробок, що призведе до зниження експлуатаційних витрат при їх утриманні.

Викладення матеріалу та результатів. Шахта «Краснолиманська» є однією з найбільш перспективних підприємств вугільної галузі, що знаходяться у державній власності. Вугілля марки Ж (коксівне) на шахті видобувається на глибині 850-1087 м з пластів потужністю від 1,1 до 3,2 м. Вугільні пласти газонасичені, схильні до раптових викидів вугілля і газу.

На прикладі цього конвеєрного штреку виконані розрахунки вартості підтримки підготовчої виробки із умов, що підтримується у робочому стані 50 % її протяжності, як то впливає із розрахунків за критерієм [12] (табл. 1) та вартості спорудження нової (вентиляційної) виробки (табл. 2).

Таблиця 1

Витрати на підтримку 4-го північного конвеєрного штреку уклону № 1 пласта m^2_4	
Показники	Підтримка (відновлення) 730 м
Норма виробітку	0,146
Вартість підтримки одного погонного метра	1 465, грн.
Об'єм гірської маси	8 030 m^3
Витрати всього	43 260 765 грн.
на 1 п.м.	29 631 грн.

Таблиця 2

Витрати на спорудження 4-го північного вентиляційного штреку уклону № 1 пласта m_4^2	
Показники	Підтримка (відновлення) 1460 м
Норма виробітку	0,202
Вартість підтримки одного погонного метра	1 139 грн.
Об'єм гірської маси	23 360 m^3
Витрати всього	48 594 831 грн.
на 1 п.м.	33 284 грн.

Обґрунтовуючи той чи інший критерій доцільності повторного використання транспортних підготовчих виробок, як витікає з наведеного вище аналізу, обов'язковою є розробка таких конструкцій кріплення і параметрів технологій їх зведення, при яких рівень стійкості виробки не буде перевищувати певну критичну величину.

Цей критичний рівень дорівнює 0,5 при умові, що показник стійкості обчислюється за формулою

$$\omega = \frac{\bar{S}}{S}, \quad (1)$$

де S – загальна довжина виробки, $\bar{S}$ – довжина виробки, що не потребує виконання ремонтних робіт.

Виробка має повну стійкість при $\omega = 1$ і повністю підлягає ремонту при $\omega = 0$. У свою чергу показник стійкості, як це впливає з рис. 1 нелінійно залежить від переміщень контуру виробки, тобто

$$\omega = f\left(\frac{U_0}{R_0}\right), \quad (2)$$

де U_0 – величина переміщень контуру виробки; R_0 – половина ширини виробки.

Узагальнена залежність (2), що була отримана у результаті натурних вимірів у різних гірничо-геологічних умовах, в тому числі і в умовах шахти «Краснолиманська», була апроксимована наступною залежністю

$$\omega = 0,0021 \times \left(\frac{U_0}{R_0}\right)^{-2,202} \quad (3)$$

з похибкою $R^2=0,9807$.

Виходячи з того, що величина ω не повинна перевищувати 0,5, отримаємо ту максимальну величину переміщень контуру виробки, що повинна забезпечити система кріплення і елементи охорони з боку виробленого простору, тобто

$$0,5 = 0,0021 \times \left(\frac{U_0}{R_0}\right)^{-2,202}, \quad (4)$$

звідки витікає, що $\frac{U_0}{R_0} \leq 0,083$.

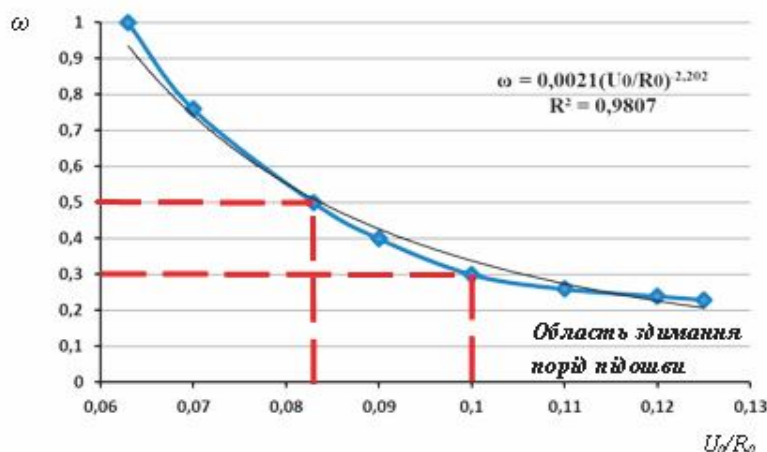


Рис. 1. Залежність зміни показника стійкості виробки ω від переміщень контуру виробки

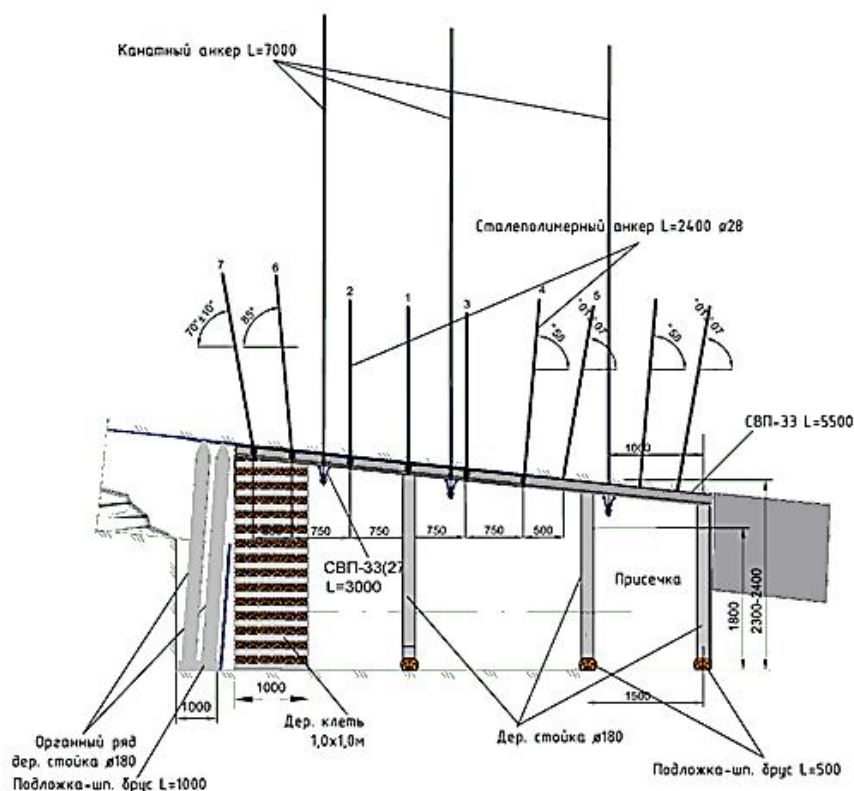


Рис. 2. Паспорт кріплення і охорони штреку на ділянці за лавою

Із наведених у таблицях розрахунків витікає, що при прийнятій технології підтримки і кріплення 4-го північного вентиляційного штреку уклону № 1 пласта m^2_4 економічний ефект становить 5 314 065 гривень, або 3 640 гривень на 1 м виробки.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином, при умові перекріплення і підшивки 50 % довжини виробки технічні рішення, направлені на забезпечення її стійкості, є економічно доцільними, що направляє на подальше дослідження конструкцій кріплення для повторного використання конвеєрного штреху на чисельних моделях.

Список літератури

1. Електронний ресурс. XXIV конференція, проведена в рамках Рамочної конвенції ООН об изменении климата (COP 24) и 14-я в рамках совещания сторон по Киотскому протоколу (CMP-14)). Режим доступа: – <http://infoclimatе.org/sobytiе/katowice-2018/>
2. **Shashenko A., Khoziaikina N., Cherednyk V., Pashkevych M.** Energy-saving technologies of the coal seams development / Advanced Engineering Forum Vol. 25 Submitted. Trans Tech Publications, Switzerland. – 2017. – P. 11-19.
3. **Pivnyak G.G., Shashenko O.M.** Trends of World Coal Mining Development and Thermal Power Generation / Materials of the International Scientific and Practical Conference "Physical and Chemical Geotechnologies - 2018". Дніпро: НТУ "ДП", 2018. - С. 7-10.
4. **Хозяйкина Н.В.** Технологии Synchro-mining на базе угольных шахт, подлежащих закрытию // «Уголь Украины». – Издатель: ГП «Институт» УкрНИИпроект». - № 6. – 2018 (738). – С. 9-14.
5. Зинченко А., Михайленко А. «Зеленая» революция в Украине: для всех или для избранных. – 16 февраля 2018. Режим доступа: <https://www.epravda.com.ua/rus/publications/2018/02/16/634141/>
6. **Логунова А.О., Дубовик А.И., Король А.Ю.** К вопросу о выборе критерия целесообразности повторного использования подготовительных выработок угольных шахт / Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників - 2018», 10.10 - 13.10.2018 р. Геомеханіка і геотехніка. – Дніпро: Середняк Т.К.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. – С. 125 – 127.
7. **Попович И.Н.** Исследование эффективности элементов крепления и охраны выемочных выработок в условиях шахты «Партизанская» ГП «Антрацит» // Форум гірників-2014: Матеріали міжнародної наук.-техн. конференції. 1-4 жовтня 2016 р. Т. 2. – Дніпропетровськ, РВК НГУ. – 2014. – С. 97-103.
8. **Попович И.Н.** Обоснование параметров способа охраны выработок для повторного использования на ОП «Шахта «Комсомольская» ГП «Антрацит» // Міжнародна наук.-техн. конференція «Сталій розвиток промисловості та суспільства» 21.05.2015 р. Т. 1. – КНУ. – 2015. – С. 20-21.
9. **Гапеев С.Н., Григорьев А.Е., Логунова А.О.** Критериальная величина остаточного сечения конвейерного

штрека, используемого повторно // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 2 (16). – С. 90-99.

10. Барабаш М.В., Дубовик А.И., Логунова А.О. Повторное использование подготовительных выработок угольных шахт. – Днепропетровск: Литограф, 2015. – 65 с.

11. Дудка И.В. Обоснование параметров охраны выемочных выработок при бесцеликовой отработке в условиях шахты «Партизанская» ГП «Антрацит» / XI Міжнародна наук.-техн. конф. «Розробка, використання та екологічна безпека сучасних гранульованих та емульсійних вибухових речовин»: матеріали конференції. Кременчук-Сваліява, 1-7 лютого 2015 р. – Кременчук: КрНУ, 2015. – С. 78-81.

12. Солодянкин А.В., Машурка С.В., Дудка И.В. К вопросу об эффективности повторного использования выработок в сложных геомеханических условиях // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: КрНУ, 2015 – № 2 (16). – С. 99-109.

13. Шащенко А.Н., Дубовик А.И. Обоснование критерия целесообразности повторного использования подготовительных выработок угольных шахт // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2016. – № 1(38). – С. 61-63.

14. Solodyankin O., Hryhoriev O., Dudka I., Mashurka S. Criterion to select rational parameters of supports to reduce expenditures connected with construction and maintenance of development working // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2017. – №2. – Р. 19-27.

15. Чередник В.А., Хозяйкина Н.В. Разработка и верификация геомеханической модели деформирования подрабатываемой слоистой породной толщи в горно-геологических условиях ГП «Угольная компания «Красноглиманская» / Матеріали міжнар. конф. «Форум гірників - 2018», 12.10-14.10.2018 р. Геомеханіка і геотехніка. – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. – С. 102-108.

Рукопис подано до редакції 19.04.2018

УДК 622.833:622.26

Д.В. БАБЕЦ, канд.техн.наук, проф., Е.А. СДВИЖКОВА, д-р техн.наук, проф.,

Д.О. СОСНА, аспірант

Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕЩИН ПРИ ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ ПОРОДНОГО МАССИВА

Цель. Совершенствование методики определения прочности породного массива, основанной на вероятностно-статистическом подходе, с учетом различных характеристик трещиноватости пород. Установление зависимости реальной прочности породного массива от качества поверхностей потери сплошности на основе многовариантного моделирования дефектного породного массива с использованием метода дискретных элементов.

Методы исследования. Проанализированы основные отечественные и зарубежные подходы к определению реальной прочности массива горных пород. Показаны преимущества применения вероятностно-статистического подхода при аналитическом определении коэффициента структурного ослабления. Использована статистическая теория прочности для определения коэффициента структурного ослабления, с учетом различных характеристик трещиноватости. С использованием метода дискретных элементов разработана численная модель породного массива пересеченного трещиной. Метод нелинейного регрессионного анализа применен к результатам численного моделирования для аппроксимации функции учета качества поверхности трещины.

Научная новизна. Впервые при определении коэффициента структурного ослабления на основе статистической теории прочности количественно учитывается качество поверхности потери сплошности.

Практическая значимость. Получена зависимость коэффициента вариации (необходимого элемента определения коэффициента структурного ослабления) от качества поверхности трещины, расстояния между трещинами и угла падения трещин в массиве горных пород. Разработана методика обобщения качественной информации о состоянии трещины и сведения ее к единому количественному индексу.

Результат. Проведенные исследования позволили сделать очередной шаг к решению актуальной задачи определения реальной прочности сложноструктурного породного массива, содержащего дефекты.

Усовершенствована вероятностно-статистическая модель прочности дефектного породного массива, что позволило повысить адекватность определения коэффициента структурного ослабления.

Ключевые слова: прочности массива горных пород, коэффициент структурного ослабления, статистическая теория прочности, метод дискретных элементов, численное моделирование, трещиноватость.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-169-175

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Определение прочности породного массива, содержащего дефекты структуры, является одной из наиболее сложных исследовательских задач геомеханики. Кроме того, сложно переоценить практическое значение

данной задачи, на основе которой выполняется оценка устойчивости подземных выработок, и определяются инженерные мероприятия по их поддержанию [1-5].

Породный массив имеет определенную структуру и текстуру, разбит системами случайно ориентированных трещин разной степени раскрытия с различным состоянием поверхности сцепления, что приводит к тому, что прочностные характеристики горных пород в образце и массиве имеют существенное отличие [6]. Это отличие в геомеханике оценивается коэффициентом структурного ослабления – необходимым компонентом расчета прочности породного массива, который регулируется нормативными документами Украины [7].

Анализ исследований и публикаций. Вопросом адекватного определения коэффициента структурного ослабления ученые геомеханики активно занимаются с середины XX века. Здесь можно отметить как фундаментальные аналитические работы [8-9], так и исследования, основанные на методах статистического анализа результатов испытаний горных пород [10-11]. В зарубежной литературе широко применяется методика оценки прочности горных пород путем введения результирующих рейтинговых показателей (RMR [12], GSI [13], RMi [14]), а аналог коэффициента структурного ослабления получают на основе выходного рейтингового значения. Системы рейтингов учитывают значительное количество факторов, влияющих на прочность массива горных пород, среди которых: расстояние между трещинами, состояние поверхности трещин, ориентация простирания трещин, наличие подземных водопритоков и др.

Наиболее перспективным подходом к определению коэффициента структурного ослабления, с точки зрения авторов, является подход, который основывается на статической теории прочности [15] и на протяжении многих лет развивается научной школой Национального горного университета. Основываясь на статистическом подходе, на сегодняшний день разработана методика определения коэффициента структурного ослабления с учетом расстояния между трещинами [16] и ориентации систем трещин [17].

Однако, как показал анализ, проведенный в [18], существующие сегодня в Украине подходы к установлению коэффициента структурного ослабления, дают более «оптимистичные» значения расчетной прочности сильно трещиноватых, неоднородных горных пород, характерных для угольных шахт нашего региона, в сравнении с мировыми аналогами (системами Хока-Брауна (GSI), Палмстрорма (RMi) и др.). Вызвано это тем, что при определении коэффициента структурного ослабления нужно выявить и учесть все факторы, которые влияют на прочностные и деформационные свойства горных пород, а именно: форму и геологические условия залегания, характер трещиноватости и состояние поверхности трещин, а также дефекты внутреннего строения и обводнение. Второстепенные в одном случае факторы могут оказаться определяющими в другом, в зависимости от конкретной геомеханической ситуации.

Постановка задачи. Недостаточный учет влияния таких факторов, как качество поверхностей ослабления, присутствующих в блоках горных пород; а также типа и влажности заполнителя между ними влечет за собой недостаточную адекватность определения прочности породного массива.

Таким образом, совершенствование методики определения коэффициента структурного ослабления с учетом всех характеристик трещиноватости породного массива является актуальной научно-технической задачей.

Изложение материала и результаты. Как указывалось выше, существующие методы определения коэффициента структурного ослабления, которые основываются на статической теории прочности, сосредоточены главным образом на учете расстояния между трещинами и ориентации систем трещин. Для учета факторов учитывающих качество поверхности трещин, внесем изменения в начальную вероятностную модель [16].

При изготовлении лабораторных образцов горных пород те из них, которые пересечены трещиной, физически не могут попасть в статистическую выборку, так как разрушаются до начала исследований. Таким образом, структурные элементы, которые содержат макродефекты, в обычных испытаниях участия не принимают, но как реально существующие в массиве и влияющие на его прочность должны быть включены в статистику исследования [17]. Также следует учесть элементы, образцы из которых изготовить возможно, но вследствие наличия микродефектов, влияния выветривания и других факторов их прочность значительно меньше среднего выборочного значения. Такие образцы обычно разрушаются на начальной стадии эксперимента и не рассматриваются в случайной выборке, так как считаются аномальными значениями.

ми. Но именно такие образцы характеризуют реальное состояние породного массива и должны быть учтены при определении характеристик статистического распределения.

Включение в статистическую совокупность этих элементов, т.е. элементов, прочность которых значительно ниже прочности интактных элементов, либо равна нулю, изменяет все характеристики выборки. Далее исследуем тенденцию этих изменений.

Рассмотрим статистическую модель эксперимента определения предела прочности на одноосное сжатие блока неоднородного породного массива, который содержит несколько систем трещин. Пусть $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{n_s}$ – значения случайной переменной – предела прочности на сжатие, которые получены в результате испытаний по стандартной методике [19]. Эта совокупность значений не является репрезентативной выборкой генеральной совокупности значений прочности структурных элементов породного массива, так как в нее не попала часть аномальных результатов, в количестве n_j и значения образцов, содержащих макродефекты (не изготовленных) в количестве n_t .

Для получения репрезентативных результатов статистическая обработка должна выполняться для новой, «исправленной», случайной выборки, которая состоит из $n = n_s + n_t + n_j$ элементов.

Среднее выборочное (начальный статистический момент первого порядка) такой выборки составляет

$$m'_1 = \bar{\sigma}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} \sigma_i + \sum_{i=1}^{n_t} \sigma_{it} + \sum_{i=1}^{n_j} \sigma_{ij}}{n_s + n_t + n_j} \quad (1)$$

Опираясь на физический смысл предложенной модели, значение последней суммы в числителе (1) предполагается близким нулю, а значение второй суммы вычисляется с использованием функции снижения прочности структурного элемента $f(\alpha)$, которая приведена в работе [17].

Введем обозначения: $v = n_s / n_t$ и $\rho = n_s / n_j$. Тогда формула (1) будет иметь вид

$$m'_1 = \frac{1}{n_s} \frac{\sum_{i=1}^{n_s} \sigma_i + \sum_{i=1}^{n_t} f(\alpha) \sigma_i}{1 + \frac{1}{v} + \frac{1}{\rho}} = \frac{v\rho}{v\rho + \rho + v} \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_s} \sigma_i}{n_s} + \frac{f(\alpha)n_t}{n_s} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_t} \sigma_i}{n_t} \right), \quad (2)$$

Сократим числитель и знаменатель на ρ и вынесем начальный статистический момент первого порядка (m_1) начальной совокупности за скобки, получим

$$m'_1 = \frac{v}{v(1 + \frac{1}{\rho}) + 1} \cdot m_1 \cdot \left(1 + \frac{f(\alpha)}{v} \right) = m_1 \cdot \frac{v + f(\alpha)}{v(1 + \frac{1}{\rho}) + 1} = m_1 \cdot \frac{v + f(\alpha)}{v(1 + f(j)) + 1}, \quad (3)$$

где $f(j)$ – эмпирическая функция, которая описывает уменьшение прочности породного массива, вызванное ухудшением качества поверхности трещин.

Согласно исследованиям, которые были проведены в [17] величина v может быть представлена в виде

$$v = \frac{l_t}{l_0}, \quad (4)$$

и может быть легко определена экспериментально. Здесь l_t – среднее расстояние между трещинами, а l_0 – стандартный размер образца. Тогда, окончательно, связь между начальным статистическим моментом первого порядка «исправленной» репрезентативной выборки и исходной совокупности данных может быть представлена в виде

$$m'_1 = m_1 \cdot \left(\frac{\frac{l_t}{l_0} + f(\alpha)}{\frac{l_t}{l_0}(1 + f(j)) + 1} \right) = m_1 K_{j1}, \quad (5)$$

где K_{j1} – коэффициент влияния параметров трещиноватости первого порядка.

Основным параметром статистического распределения, от которого, согласно исследованиям, проведенным в [17], зависит коэффициент структурного ослабления, является относительная вариация, которая характеризует разброс данных относительно среднего. Для ее определения необходимо определить выборочную дисперсию, которая является центральным статис-

тическим моментом второго порядка (μ'_2). Как известно, он связан с начальными моментами первого и второго порядка соотношением

$$\mu'_2 = m'_2 - (m'_1)^2. \quad (6)$$

Согласно предложенной математической модели, начальный момент второго порядка определяется следующим образом

$$m'_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 = \frac{1}{n_s} \frac{\sum_{i=1}^{n_s} \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^{n_s} f^2(\alpha) \sigma_i^2}{1 + \frac{1}{v} + \frac{1}{\rho}} = m_2 \frac{v + f^2(\alpha)}{v(1 + \frac{1}{\rho}) + 1} = m_2 K_{j2}, \quad (7)$$

где K_{j2} – коэффициент влияния параметров трещиноватости второго порядка, равный:

$$K_{j2} = \frac{\frac{l}{l_0} + f^2(\alpha)}{\frac{l}{l_0}(1 + f(j)) + 1}. \quad (8)$$

Тогда, в соответствии с (6) и учитывая (5) и (7), дисперсия «исправленной» репрезентативной выборки определяется

$$D' = \mu'_2 = K_{j2} m_2 - K_{j1}^2 m_1^2 \quad (9)$$

Соответственно, основная характеристика, необходимая для определения коэффициента структурного ослабления – относительная вариация «исправленного» ряда, будет определяться выражением:

$$\eta' = \frac{\sqrt{D'}}{m'_1} = \sqrt{\frac{K_{j2} m_2 - K_{j1}^2 m_1^2}{K_{j1}^2 m_1^2}} = \sqrt{\frac{K_{j2}}{K_{j1}^2} (\eta^2 + 1) - 1}, \quad (10)$$

где η – относительная вариация, полученная без учета влияния трещиноватости породного массива.

В таком виде относительная вариация отображает как внутреннюю структурную неоднородность массива, которая характеризуется вариацией прочности при обычном испытании, так и механическое его ослабление системами трещин, то есть учитывает расстояние между трещинами, угол наклона трещин и качество поверхности потери сплошности.

Формула (10) может быть использована для определения коэффициента структурного ослабления, например, в формуле (11) [17], которая получена на основе гипотезы о логарифмически нормальном распределении прочности элементов породного массива

$$k_c = \frac{\exp\left(\arg F_0(1-p) \cdot \sqrt{\ln(\eta'^2 + 1)}\right)}{\sqrt{\eta'^2 + 1}}, \quad (11)$$

где $\arg F_0(1-p)$ – аргумент функции стандартного нормального распределения при ее значении, равном $1-p$, p – уровень достоверности определения прочности массива.

Дальнейшие исследования сфокусированы на определении функции $f(j)$ уменьшения прочности, вызванного ухудшением качества поверхности потери сплошности.

Численное моделирование влияния качества поверхностей ослабления на прочность массива горных пород (на основании метода дискретных элементов). Для численного моделирования влияния качества поверхностей ослабления на прочность массива горных пород используем метод дискретных элементов (МДЭ, DEM). Как принципиально дискретный метод, основанный на приложении законов Ньютона и контактной механики, он не имеет недостатков континуальных (непрерывных) моделей, проявляющихся при моделировании нарушений сплошности вещества или дискретности его внутренней структуры. В полной мере метод дискретных элементов реализован в программной среде Yade [20].

Yade – это расширяемая среда с открытым исходным кодом для дискретных численных моделей, сфокусированная на методе дискретных элементов. Вычислительные модули написаны на языке программирования C++ с использованием гибкой объектной модели, что позволяет независимо реализовывать новые алгоритмы и интерфейсы. Язык программирования Python используется для быстрого построения сцены управления имитацией, постобработки и отладки.

Метод дискретных элементов описывает моделируемое тело как совокупность точечных масс (элементов), которые взаимодействуют друг с другом по определенным законам. Каждый такой элемент определяется рядом параметров: положением в пространстве, скоростью, массой и списком соседних элементов (элементов, с которыми данный элемент взаимодействует) [21].

Образец представляет собой совокупность частиц, между которыми рассматривается упруго-вязкое взаимодействие с учётом трения. При внешних воздействиях моделируемое тело деформируется, а элементы изменяют свое положение. Таким образом, задача сводится к вычислению новых координат и скоростей элементов тела на каждом шаге моделирования.

Путем использования дискретных элементов получены модели дефектного породного образца, нарушенного трещиной (рис. 1 а). Качество поверхности потери сплошности моделировалось путем изменения параметров контакта между дискретными элементами по плоскости разрыва. Момент разрушения образца определялся как момент коллапса связей между элементами (рис. 1 б).

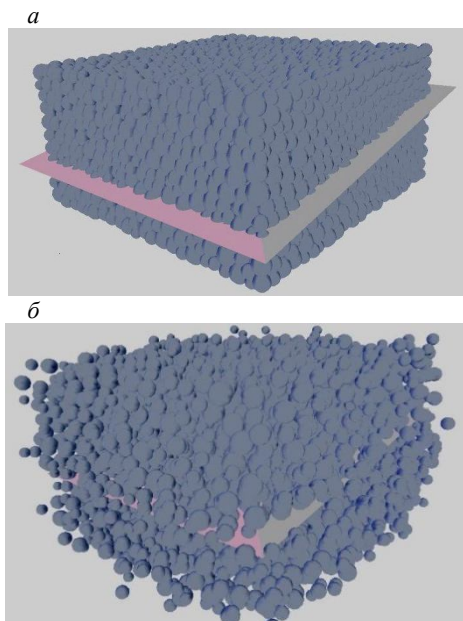


Рис. 1. Модель дефектного породного массива, нарушенного трещиной: а – начальная стадия эксперимента, б – момент разрушения

В результате многовариантного численного моделирования методом дискретных элементов установлено значительное влияние качества поверхности дефекта (трещины) на прочность исследуемого образца. Результаты численного моделирования стали основой аппроксимации функции уменьшения прочности $f(j)$.

Аппроксимация функции уменьшения прочности породного массива, вызванного учетом качества поверхности потери сплошности. Как известно, трещины характеризуется длиной, шириной и извилистостью стенок. Кроме того, различают открытые и заполненные трещины по наличию или отсутствию в них заполнителей. По раскрытости или мощности заполнения выделяются видимые трещины (открытые, закрытые и «волосные») и микротрещины. Ширина открытых трещин или мощность их заполнения определяются

непосредственными замерах, ширину закрытых трещин можно считать равной 0,8...0,5 мм, «волосных» – 0,5...0,2 мм. Заполнитель в трещинах может быть представлен рыхлыми отложениями типа песчано-глинистых грунтов либо образованиями, отличающимися от пород массива по минералогическому составу, но сходными с ними по структуре и физическим свойствам.

Для обобщения данной информации и сведения ее к единому количественному индексу за основу была взята хорошо апробированная рейтинговая классификация – «Рейтинг породного массива» (RMR) [22]. Выбор этой рейтинговой системы можно объяснить ее направленностью на количественный учет качественных особенностей трещиноватого массива горных пород. Таблица 1 является модификацией четвертого компонента классификации «Рейтинг породного массива» – качество поверхности трещин (Joint Condition).

С учетом рекомендаций данной рейтинговой системы выполнена аппроксимация функции $f(j)$ методами нелинейного регрессионного анализа. Значения независимой переменной j , которая количественно отображает качество поверхности трещины, выбирались согласно табл. 1.

Кривую на рис. 2, которая характеризует потерю прочности структурного элемента в зависимости от состояния поверхности ослабления, можно аппроксимировать полиномом второй степени относительно параметра j , вида

$$f(j) = 0,5 - (0,063 \cdot j^2 - j) \cdot 10^{-3}, \quad (12)$$

где j – суммарное значение рейтинга состояния трещин, который изменяется от 1 до 100.

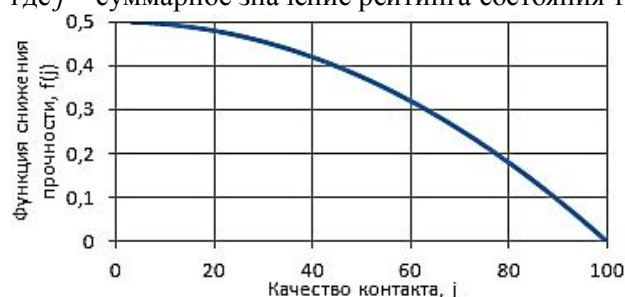


Рис. 2. Аппроксимация функции уменьшения прочности

Выводы и направление дальнейших исследований. Проведенные исследования позволили сделать очередной шаг к решению актуальной задачи – оценке реальной прочности породного массива, содержащего дефекты структуры.

Таблица 1

К количественной оценке качества поверхности трещины

Качество поверхности трещины		Очень шероховатые поверхности, не длительные, без разделения пород, не выветренные	Немного шероховатые поверхности, незначительное отделение, следка выветренные	Немного шероховатые поверхности, отделение пород менее 1 мм, сильно выветренные	Гладко полированные поверхности, отделение пород 1-5 мм, протяженные трещины	Мягкая кромка толщиной более 5 мм или отделение пород более 5 мм, протяженные трещины
Длина разрыва		Менее 1 м	от 1 до 3 м	от 3 до 10 м	от 10 до 20 м	более 20 м
контакт	сухой	20	16	12	6	1
	влажный	10	8	6	2	0
Отделение пород		Отсутствует 20	Менее 0,1 мм 16	от 0,1 до 1 мм 12	от 1 до 5 мм 6	более 5 мм 0
Шероховатость		Очень шероховатые поверхности	Шероховатые поверхности	Немного шероховатые поверхности	Гладкие поверхности	Гладко отполированные поверхности
контакт	сухой	20	16	12	6	1
	влажный	10	8	6	3	0
Наполнение		Отсутствует 20	Жесткое наполнение менее 5 мм 16	Жесткое наполнение более 5 мм 12	Мягкое наполнение менее 5 мм 6	Мягкое наполнение более 5 мм 0
Выветривание		Не выветренные 20	Немного выветренные 16	Умеренно выветренные 12	Сильно выветренные 6	Декомпозированные 0
Максимальная сумма баллов		100	80	60	30	2

С использованием метода дискретных элементов построена численная модель породного образца, нарушенного трещиной, что позволило количественно оценить влияние качества поверхности контакта на его прочность. Результатом проведенного многовариантного математического моделирования стала аппроксимация эмпирической функции потери прочности полиномом второй степени.

С учетом полученной функции снижения прочности структурных элементов массива усовершенствована вероятностно-статистическая модель прочности всего породного массива, что впервые позволило учитывать качество поверхности трещин при определении его реальных прочностных характеристик.

Проведенные исследования показали, что для определения степени ослабления трещиноватого породного массива на основе предложенной вероятностно-статистической модели необходима информация о среднем расстоянии между трещинами, углах падения трещин и качестве поверхности трещин (для определения индекса j согласно табл. 1). Накопление указанной геологической информации, а также совершенствование численной модели разрушения твердого тела позволят в дальнейшем повысить надежность оценки устойчивости подземных сооружений и указать пути повышения сопротивляемости пород и грунтов.

Список литературы

1. Шашенко А.Н., Солодянкин А.В., Наумович А.В. Исследование закономерностей изменения смещений и деформаций пород по глубине зоны неупругих деформаций // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг, КТУ, 2009. – Вып. 23. – С. 47-50.
2. Солодянкин А.В., Марговицкий А.В., Панченко В.В. Оценка геомеханических условий поддержания протяженных выработок шахт ОАО «Павлоградуголь» // Разработка рудных месторождений. – 2011. – Вып. 94. – С. 109-113.
3. Обоснование параметров крепления участковых выработок в условиях ГП «Шахтоуправление «Южнодонбасское №1» / Е.А. Сдвижкова, А.В. Солодянкин, Д.В. Бабец, С.В. Машурка, О.А. Кузьева // Вісник Криворізького національного університету. – 2015. – Вып. 39. – С. 19-23.

4. **Tereschuk R., Hryhoriev O., Tikhonenko V.** Parameters of single anchor effect area in homogeneous border rock mass // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, КТУ, 2016. – Вип. 41. – С. 22-25.
5. **Солодянкин А.В., Дудка И.В.** Исследование влияния очистных работ на устойчивость участковых выработок в условиях шахты «Партизанская» ГП «Антрацит» // Вісник Криворізького національного університету. – 2016. – Вип. 41. – С. 102-107.
6. **Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Кужель С.В.** Масштабный эффект в горных породах, Монография. Донецк: Издательство «Норд-Пресс», 2004. – 126.
7. Правила технічної експлуатації вугільних шахт: СОУ 10.1-00185790-002-2005.
8. **Седракян Л.Г.** К статистической теории прочности. – Ереван, изд-во Ереванского института стройматериалов и сооружений, 1958. – 104 с.
9. **Болотин В.В.** изменчивость пределов прочности хрупких материалов и ее связь с масштабным эффектом // Строительная механика и расчет сооружений, 1960. – № 4. – С. 1-7.
10. **Чирков С.Е.** Влияние масштабного фактора на прочность углей. – М.: Наука, 1969. – 113 с.
11. **Рац М.В., Чернышев С.Н.** Трещиноватость и свойства трещиноватых пород. – М.: Недра, 1970. – 160 с.
12. **Bieniawski, Z.T.** (1989), Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering: New York, Wiley, 251 p.
13. **Hoek, E., Carter, T.G. and Diederichs, M.S.,** (2013) Quantification of the geological strength index chart. Proceedings of the 47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium, Jun. 23-26, San Francisco, CA, USA, p. 1-8.
14. **Palmstrom, A.,** (1995) RMI - a rock mass characterization system for rock engineering purposes, University of Oslo, Norway.
15. **Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П.** Механика горных пород. - Киев: Новий друк, 2004. - 400 с.
16. **Шашенко А.Н., Сдвижкова О.О., Гапеев С.М.** Деформационные модели в геомеханике. – Днепропетровск: НГУ, 2008 – 223 с.
17. **Sdvyzhkova, O., Gapeiev, S., & Tykhonenko, V.** (2015). Stochastic model of rock mass strength in terms of random distance between joints. New Developments in Mining Engineering, 299-303.
18. **Babets, D.V., Sdvyzhkova, O.O., Larionov, M.H., & Tereshchuk, R.M.** (2017). Estimation of rock mass stability based on probability approach and rating systems. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, (2), 58-64.
19. **Babets, D.** (2018). Rock Mass Strength Estimation Using Structural Factor Based on Statistical Strength Theory. Solid State Phenomena, (277), 111-122.
20. **V. Šmilauer et al.** (2015), Dem formulation. In Yade Documentation 2nd ed The Yade Project , DOI 10.5281/zenodo.34044
21. **Psakhie, S.G., Horie, Y., Yu, S.** Movable cellular automata method for simulating materials with mesostructure. Theoretical and Applied Fracture Mechanics. Tomsk, 2001, vol. 37, pp. 311 – 334.
22. **Lowson, A., & Bieniawski, Z.** (2013). Critical assessment of RMR-based tunnel design practices: A practical engineer's approach. Society of Mining Engineers, 180-198.

Рукопись поступила в редакцию 19.04.2018

АНОТАЦІЇ

УДК 622.234.4: 622.349.5: 622.831

Ступнік М.І., Федько М.Б., Письменний С.В., Колосов В.О., Курносів С.А., Маланчук З.Р. Проблеми розкриття та підготовки рудних родовищ на глибоких горизонтах шахт Кривбасу

Мета. Метою даної роботи є аналіз, дослідження та розробка ефективних варіантів розкриття та підготовки глибоких горизонтів шахт Кривбасу.

Методи дослідження. В представленій роботі виконано детальний техніко-економічний аналіз факторів і умов, які впливають на ефективність застосування схем розкриття та підготовки глибоких горизонтів. Виконано комп'ютерне моделювання існуючих та розроблених схем розкриття та підготовки горизонтів залізорудних шахт на глибинах понад 1500 м.

Застосування методів моделювання, заснованих на теорії подібності, дозволив зробити висновки, які лягли в основу наукових та практичних рекомендацій по вибору оптимальних варіантів розкриття та підготовки родовищ в залежності від гірничо-геологічних та технологічних умов залізорудних шахт Кривбасу.

Наукова новизна. Теоретичними дослідженнями встановлено оптимальну глибину І-го ступеня розкриття рудних родовищ Кривбасу, яка на сьогоднішній день є доцільною у межах 1600-1800 м. Встановлено закономірності впливу поглиблення гірничих робіт до 1600-1800 м на гірничотехнічні умови розробки, на трансформації фізико-механічних характеристик гірських порід і їх геомеханічного стану.

Практична значимість. Виконаними дослідженнями актуалізована доцільність впровадження схеми розкриття родовищ концентраційними горизонтами на глибоких горизонтах Криворізьких шахт. Це дасть змогу отримати значний економічний ефект за рахунок відпрацювання 2-3 поверхів на один концентраційний горизонт, заощадивши таким чином на проведенні поверхових квершлагів, приствольних дворів та інших виробок.

Удосконалено існуючі та розроблено нові раціональні схеми розкриття і підготовки глибоких горизонтів шахт Кривбасу, що створює умови для застосування ефективних технологій видобутку руди із використанням самохідної техніки.

Результати. На підставі виконаних досліджень та встановлених залежностей запропоновані оптимальні варіанти розкриття та підготовки родовищ. Доведена доцільність розкриття та підготовки глибоких горизонтів концентраційними горизонтами, що забезпечує безпеку робіт та заощаджує кошти на підготовці проміжних поверхових горизонтів.

Ключові слова: родовища корисних копалин, глибокі горизонти, розкриття, підготовка, геомеханічні процеси

Ступник Н.И., Федько М.Б., Письменный С.В., Колосов В.А., Курносев С.А., Маланчук З.Р. Проблемы вскрытия и подготовки рудных месторождений на глубоких горизонтах шахт Кривбасса

Цель. Целью данной работы является анализ, исследование и разработка высокоэффективных вариантов вскрытия и подготовки глубоких горизонтов шахт Кривбасса.

Методы исследования. В представленной работе выполнен детальный технико-экономический анализ факторов и условий, обуславливающих эффективность применения тех или иных схем вскрытия и подготовки глубоких горизонтов. Выполнено компьютерное моделирование существующих и разработанных схем вскрытия и подготовки горизонтов железорудных шахт на глубинах более 1500 м.

Анализ методов моделирования, основанных на теории подобия, позволил сделать выводы, которые легли в научные и практические рекомендации по выбору оптимальных вариантов вскрытия и подготовки месторождений в зависимости от горно-геологических и технологических факторов, существующих на шахтах Кривбасса.

Научная новизна. В процессе теоретических исследований установлена оптимальная глубина I-й ступени вскрытия рудных месторождений Кривбасса, которая на сегодняшний день является целесообразной в пределах 1600-1800 м. Установлены закономерности изменения горнотехнических условий разработки с углублением горных работ до 1600-1800 м. Определены зависимости изменения геомеханического состояния массива от физико-механических характеристик горных пород и глубины разработки месторождений.

Практическая значимость. Выполненными исследованиями доказано, что на глубоких горизонтах Криворожских шахт целесообразно внедрить схему вскрытия месторождений концентрационными горизонтами. Это позволит получить значительный экономический эффект за счет отработки 2-3 этажей на один концентрационный горизонт, сэкономив таким образом на проведении этажных квершлагов, приствольных дворов и других выработок.

Усовершенствованы существующие и разработаны новые рациональные схемы вскрытия и подготовки глубоких горизонтов шахт Кривбасса, которые обеспечат применение эффективной технологии добычи руды с использованием самоходной техники.

Результаты. На основании выполненных исследований и установленных зависимостей определены оптимальные варианты вскрытия и подготовки месторождений. Доказана целесообразность вскрытия и подготовки глубоких горизонтов концентрационными горизонтами. Это позволяет обеспечить безопасность и сэкономить средства на подготовке промежуточных этажных горизонтов.

Ключевые слова: месторождения полезных ископаемых, глубокие горизонты, вскрытие, подготовка, геомеханические процессы.

Stupnik M.I., Fedko M. B., Pysmennyi S.V., Kolosov V.O., Kurnosov S.A., Malanchuk Z.R. Problems of developing ore deposits at deep levels of Kryvbas underground mines

Purpose. The paper is aimed at analyzing, investigating and designing highly efficient options of development and preparation of deep levels at Kryvbas underground mines.

Research methods. The paper presents a detailed technoeconomic study of factors and conditions determining application of certain development and preparation schemes for deep levels as well as simulation of current and designed development and preparation schemes for iron ore mine levels of over 1500 m.

The analysis of the simulation methods based on the similarity theory enables conclusions that underlie scientific and practical recommendations on selecting optimal options of development and preparation of deposits depending on mining-geological and technological factors of Kryvbas mines.

Scientific novelty. The theoretical investigations have resulted in determining the optimal depth of the I stage of developing ore deposits of Kryvbas which is reasonable within 1600-1800 m; regularities of change of mining and technical conditions of development when deepening mining operations to 1600-1800 m; dependency of changes in the geomechanical state of rocks on physical and mechanical properties of rocks and mining depths.

Practical value. The conducted investigation proves that the haulage level scheme is reasonable to be introduced when developing deep levels of Kryvbas underground mines. This enables obtaining the economic effect due to working 2-3 levels per 1 haulage level, and thus saving on level crosscuts, near shaft yards and other workings.

There are improved current schemes and designed new rational ones of development and preparation of deep levels at Kryvbas underground mines that will result in applying efficient technology of ore mining using mobile machines.

Results. The conducted investigations and determined dependencies enable defining optimal options of development and preparation of deep levels by haulage levels, ensuring safety and saving on preparation of intermediate levels.

Keywords: useful mineral deposits, deep levels, development, preparation, geomechanical processes.

УДК 681.5.015.23:681.5.015.24

Мацуй А.М. Математичне моделювання характеристик різнорозмірного кульового навантаження млина першої стадії подрібнення вихідної руди

Мета. Метою роботи є математичне моделювання різнорозмірного кульового навантаження млина першої стадії подрібнення руди для удосконалення механізму впливу на сумарні характеристики при досягненні його оптимального раціонального значення, що забезпечує найвищу продуктивність.

Методи дослідження. Базувалися на теорії математичного моделювання, теорії спрацювання куль, побудови характеристик кульового навантаження, режимів роботи кульових млинів, теорії та практиці раціонального довантаження куль у технологічні агрегати.

Наукова новизна. Полягає в тому, що удосконалено механізм впливу на сумарні характеристики різнорозмірного кульового навантаження млинів, що дає можливість більш ефективно досягати його оптимального раціонального значення, яке забезпечує найвищу продуктивність технологічного агрегату за готовим продуктом.

Практична значимість. Полягає в тому, що відкривається перспектива більш швидкого отримання обґрунтованої за параметрами сумарної характеристики кульового навантаження і спрощення вартісних експериментальних досліджень щодо забезпечення підвищення максимальної продуктивності технологічного агрегату за готовим продуктом.

Результати. Встановлено, що при виборі характеристики кульового навантаження необхідно враховувати режим роботи млина. Характеристики крупності розглядалися при чотирьох початкових розмірах куль, однак їх можливо брати і більше. Більше п'яти початкових розмірів куль на практиці не використовують. При виборі складу куль, що претендує на оптимальний раціональний, необхідно характеристику розпочинати з максимального розміру кулі та розташовувати її практично паралельно ідеалізованій та реальній характеристиці, що відповідає обраному режиму роботи. Початкові характеристики визначають характер сумарних характеристик. Рівномірність розташування S-подібних сумарних характеристик відносно ідеалізованих залежить від положення останніх. Змінюючи положення початкових характеристик кульового навантаження млина, можливо впливати на сумарні характеристики. Вибір початкових характеристик кульового навантаження млина відрізняється широкими можливостями. На них можливо впливати вибором максимального розміру кулі у кульовому навантаженні, кількості обраних розмірів куль, процентного вмісту обраних молоткових тіл у навантаженні. Це дозволяє виконати правильний вибір первинного кульового навантаження млина, який необхідно підтвердити експериментальною перевіркою щодо забезпечення максимальної продуктивності за готовим продуктом.

Ключові слова: різнорозмірне кульове навантаження; ідеалізована, початкова, сумарна характеристики, моделювання

Мацуй А.Н. Математическое моделирование характеристик разноразмерной шаровой нагрузки мельницы первой стадии измельчения исходной руды

Цель. Целью работы является математическое моделирование разноразмерной шаровой нагрузки мельницы первой стадии измельчения руды для усовершенствования механизма влияния на суммарные характеристики при достижении ее оптимального рационального значения, обеспечивающего наивысшую производительность.

Методы исследования. Базировались на теории математического моделирования, теории срабатывания шаров, построения характеристик шаровой нагрузки, режимов работы шаровых мельниц, теории и практике рациональной догрузки шаров в технологические агрегаты.

Научная новизна. Заключается в том, что усовершенствован механизм влияния на суммарные характеристики разноразмерной шаровой нагрузки мельниц, что дает возможность более эффективно достигать ее оптимального рационального значения, которое обеспечивающего наивысшую производительность технологического агрегата по готовому продукту.

Практическая значимость. Заключается в том, что открывается перспектива более быстрого получения обоснованной по параметрам суммарной характеристики шаровой нагрузки и упрощения дорогих экспериментальных исследований по обеспечению повышения максимальной производительности технологического агрегата по готовому продукту.

Результаты. Установлено, что при выборе характеристики шаровой нагрузки необходимо учитывать режим работы мельницы. Характеристики крупности рассматривались при четырех начальных размерах шаров, однако их можно брать и больше. Более пяти начальных размеров шаров на практике не используют. При выборе состава шаров, который претендует на оптимальный рациональный, необходимо характеристику начинать с максимального размера шара и размещать ее практически параллельно идеализированной и реальной характеристике, которая соответствует выб-

ранному режиму роботи. Начальні характеристики визначають характер сумарних характеристик. Рівномірність розподілення S-образних сумарних характеристик відносно ідеалізованих залежить від положення останніх. Змінюючи положення початкових характеристик шарової навантаження мельниці, можна впливати на сумарні характеристики. Вибір початкових характеристик шарової навантаження мельниці відрізняється широкими можливостями. На них можна впливати вибором максимального розміру шара в шаровій навантаженні, кількості вибраних розмірів шарів, процентного вмісту вибраних мелючих тіл в навантаженні. Це дозволяє виконати правильний вибір первинної шарової навантаження мельниці, яку необхідно підтвердити експериментальною перевіркою відносно забезпечення максимальної продуктивності по готовому продукту.

Ключевые слова: різномірний шаровий навантаження; ідеалізований, початковий, сумарний характеристики; моделювання

Matsui A. M. Mathematical modeling of the characteristics of a multi-size ball load mill at first grinding the original ore

Purpose. The mathematical modeling of a multi-dimensional ball load of the mill at first ore grinding to improve the mechanism of influence on the total characteristics while achieving its optimal ration value, which ensures the highest productivity.

Research methods. The theory of mathematical modeling, the theory of the operation of balls, the construction of the characteristics of ball load, the operating modes of ball mills, the theory and practice of rational loading of balls into technological units.

Scientific novelty. Influence on the total characteristics of multi-sized ball load of mills has been improved, which makes it possible to more effectively achieve its optimum ration value, which ensures the highest performance of the technological unit for the finished product.

Practical significance. The prospect of a more rapid obtaining of a globally load-based characteristic of the parameters and simplification of expensive experimental studies to ensure an increase in the maximum performance of the technological unit for the finished product.

Results. When choosing the characteristics of a ball load, it is necessary to consider the mode of operation of the mill. Size characteristics were considered at four initial sizes of balls, but they can be taken more. More than five initial sizes of balls are not used in practice. When choosing the composition of the balls, which claims to be the best rational, it is necessary to start the characteristic with the maximum ball size and place it almost parallel to the idealized and real characteristic that corresponds to the chosen mode of operation. The initial characteristics determine the nature of the total characteristics. The uniformity of the arrangement of S-shaped total characteristics relative to idealized depends on the position of the latter. By changing the position of the initial characteristics of the ball load of the mill, it is possible to influence the total characteristics. The choice of the initial characteristics of the ball load of the mill is very versatile. They can be influenced by choosing the maximum size of the ball in the ball load, the number of selected ball sizes, the percentage of the selected grinding bodies in the load. This allows you to make the right choice of the primary ball load mill, which must be confirmed by experimental verification with respect to ensuring maximum performance on the finished product.

Keywords: different size ball loads; idealized, initial, total characteristics; modeling

УДК 622.831

Солодянкин О.В., Дудка І.В., Григор'єв О.С., Солодянкина О.А. Вдосконалена методика проведення інструментальних вимірювань у виробках з металевим арочним кріпленням

Мета. Метою роботи є вдосконалення традиційної методики проведення натурних вимірювань в шахтних умовах, що дозволяє зменшити трудомісткість операцій, підвищує безпеку виконання робіт та точність визначення поточних геометричних параметрів металевих арочних кріплень.

Методи дослідження. Розглянуті методики шахтних досліджень, що використовують для комплексної оцінки стану гірничої виробки, приконтурного масиву порід, деформацій металевих арочних кріплень та напрямки їх вдосконалення. Для визначення переваг методик та приладів, що застосовують при проведенні шахтних досліджень, використані методи узагальнення, аналізу та оцінки їх організаційних та технологічних показників.

Наукова новизна. Запропонована спрощена методика визначення площі поперечного перерізу виробки для дослідження закономірностей зміни її величини у часі або за довжиною виробки під впливом зовнішніх навантажень.

Практична значимість. Запропонований комплекс обладнання, новий пристрій та технологія проведення вимірів у виробці дозволяють підвищити безпеку виконання робіт, збільшують точність вимірювань, істотно зменшують їх трудомісткість, дають можливість виконання вимірів однією людиною. Аналіз отриманих результатів дозволяє об'єктивно оцінити поточний стан металевих кріплень виробки, оперативно визначити причини та ступінь її деформації, обґрунтувати раціональні способи підвищення стійкості виробок, закріплених металевим або рамно-анкерним кріпленням.

Результати. Розроблений пристрій для виміру геометричних параметрів внутрішнього контуру виробки та удосконалена методика проведення інструментальних вимірювань для виробок з металевим арочним кріпленням. Запропонована спрощена методика визначення поточного поперечного перерізу виробки з металевим арочним кріпленням. Виконана оцінка методів проведення шахтних інструментальних досліджень за різними параметрами. Визначені їх недоліки і переваги. Наведені результати шахтних випробувань запропонованого пристрою та методики проведення натурних досліджень. За результатами комплексу виконаних робіт отриманий патент на корисну модель, що є підтвердженням технічної новизни запропонованого рішення.

Ключові слова: шахтні дослідження, металеве кріплення, рамно-анкерне кріплення, далекомір, лазерний рівень

Солодянкин А.В., Дудка І.В., Григорьев А.Е., Солодянкина О.А. Усовершенствованная методика проведения инструментальных измерений в выработках с металлической арочной крепью

Цель. Целью работы является совершенствование традиционной методики проведения натурных измерений в шахтных условиях, что позволяет уменьшить трудоемкость операций, повышает безопасность выполнения работ и точность определения текущих геометрических параметров металлической арочной крепи.

Методы исследования. Рассмотрены методики шахтных исследований, используемые для комплексной оценки

состояния горной выработки, приконтурного массива пород, деформаций металлической рамной крепи и направления их совершенствования. Для определения преимуществ методик и приборов, применяемых при проведении шахтных исследований, использованы методы обобщения, анализа и оценки их организационных и технологических показателей.

Научная новизна. Предложена упрощенная методика определения площади поперечного сечения выработки для исследования закономерностей изменения ее величины во времени или по длине выработки под влиянием внешних нагрузок.

Практическая значимость. Предложенный комплекс оборудования, новое устройство и технология проведения измерений в выработке позволяют повысить безопасность выполнения работ, увеличивают точность измерений, существенно уменьшают их трудоемкость, дают возможность выполнения измерений одним человеком. Анализ полученных результатов позволяет объективно оценить текущее состояние металлической крепи выработки, оперативно определить причины и степень ее деформации, обосновать рациональные способы повышения устойчивости выработок, закрепленных металлической или рамно-анкерной крепью.

Результаты. Разработано устройство для измерения геометрических параметров внутреннего контура выработки и усовершенствована методика проведения инструментальных измерений для выработок с металлической арочной крепью. Предложена упрощенная методика определения текущего поперечного сечения выработки с металлической арочной крепью. Выполнена оценка методов проведения шахтных инструментальных исследований по различным параметрам. Определены их преимущества и недостатки. Приведены результаты шахтных испытаний предлагаемого устройства и методики проведения натурных исследований. По результатам комплекса выполненных работ получен патент на полезную модель, который является подтверждением технической новизны предлагаемого решения.

Ключевые слова: шахтные исследования, металлическая крепь, рамно-анкерная крепь, дальномер, лазерный уровень

Solodyankin O.V., Dudka I.V., Grigoriev O.Ye., Solodyankina O.A. Improved methods of instrumental measurements in workings with metal arch support

Purpose. To improve the conventional method of in-situ measurements in mine conditions, which allows to reduce the labor intensity of operations, increases the safety of work and the accuracy of determining the current geometric parameters of metal arch support.

Research methods. The methods of mine research used for a comprehensive assessment of the state of the mine workings, rock mass around the workings, deformations of metal arch support and directions for their improvement are considered. In order to determine the benefits of techniques and devices for mining research, the methods of generalization, analysis and evaluation of their organizational and technological indicators are used.

Scientific novelty. A simplified method for determining the cross-sectional area of the working is proposed to study the patterns of change in its magnitude in time or along the length of working under the influence of external loads.

Practical value. The proposed equipment, a new device and technology for measuring in the mine allow to increase the safety of work, increase the accuracy of measurements, significantly reduce their labor intensity, make it possible to perform measurements by one person. Analysis of the results allows us to objectively assess the current state of metal support workings, promptly determine the causes and degree of its deformation, substantiate rational ways to increase the stability of the workings fixed with metal or frame-anchor support.

Results. A device for measuring the geometrical parameters of the internal contour of the working has been developed and the technique of instrumental measurements for workings with a metal arch support has been improved. A simplified method for determining the current cross-sectional working with a metal arch support is proposed. The evaluation of methods for conducting mine instrumental studies on various parameters has been performed. Identified their advantages and disadvantages. The results of the mine tests of the proposed device and methods for conducting in-situ measurements are presented. According to the results of a set of completed works, a patent was obtained, which is a confirmation of the technical novelty of the proposed solution.

Keywords: mining research, metal arch support, frame-anchor support, rangefinder, laser level.

УДК 621.311.086.5:621.3.001

Сінчук О. М., Філіпп Ю. Б., Кутовий Ю. М. Тенденції розвитку і удосконалення електрообладнання скіпових підйомних установок.

Мета. Метою даної роботи є аналіз напрямків розвитку електроприводів скіпових підйомних установок і дослідження режимів їх енергоспоживання в умовах залізрудних шахт Кривбасу. Для досягнення зазначеної мети в роботі виконано аналіз тенденцій виготовлення механічного і електричного обладнання підйомних установок відомими виробниками у світі, розглянуто стан електроприводів змінного і постійного струму скіпових підйомних установок шахт, проведено дослідження режимів енергоспоживання електроприводів та визначені питомі витрати електроенергії і питомі вартість електроенергії при роботі скіпових підйомних установок ПАТ «Кривбасзалізрудком».

Методи досліджень. Основна увага приділена статистичним даним споживання електроенергії шахт з використанням автоматизованих систем комерційного і технічного обліку електроенергії шахт, дослідженню питомих витрат електроенергії та її вартості, а також аналізу технічних характеристик силового електрообладнання шахтних підстанцій та підйомних установок.

Наукова новизна. Енергоспоживання силового електрообладнання підйомних установок шахт розглянуто в комплексі з видобутком залізної руди та різними видами систем електроприводів підйомних установок, які експлуатуються в Кривбасі, що дозволяє аналізувати вплив різних факторів на енергетичні та економічні показники підйомних установок при видобутку руди.

Практичне значення. Використання результатів роботи дає можливість в умовах різних шахт ґрунтовно визначити шляхи модернізації механічного і електричного обладнання підйомних установок та розробити вимоги до режимів роботи з метою мінімізації витрат на електроенергію.

Результати. Проаналізовано графіки видобутку руди і споживаної електроенергії електроприводів скипових підйомних установок провідних шахт ПАТ «Кривбасзалізрудком», а також розраховані фактичні рівні питомих витрат електроенергії та її вартості на цих шахтах. Основними результатами роботи є рекомендації по використанню енергоефективних систем електроприводів підйомних установок з частотно-регульованим електроприводом на базі синхронних і асинхронних двигунів та рекомендації з практичних розрахунків визначення показників споживання електроенергії в шахтних мережах живлення.

Ключові слова: регульований електропривод, перетворювач частоти, підйомна установка, гармоніки струму.

Синчук О. Н., Филипп Ю. Б., Кутовой Ю. Н. Тенденции развития и усовершенствование электрооборудования скиповых подъемных установок.

Цель. Целью данной работы является анализ направленный развития электроприводов скиповых подъемных установок и исследование режимов их энергопотребление в условиях железорудных шахт Кривбасса. Для достижения указанной цели в работе выполнен анализ тенденций изготовления механического и электрического оборудования подъемных установок известными производителями в мире, рассмотрено состояние электроприводов переменного и постоянного тока скиповых подъемных установок шахт, проведено исследования режимов энергопотребления электроприводов и определены удельные затраты электроэнергии и удельная стоимость электроэнергии при работе скиповых подъемных установок ПАО "Кривбассжелезрудком".

Методы исследований. Основное внимание уделено статистическим данным потребления электроэнергии шахт с использованием автоматизированных систем коммерческого и технического учета электроэнергии шахт, исследованию удельных затрат электроэнергии и её стоимости, а также анализу технических характеристик силового электрооборудования шахтных подстанций и подъемных установок.

Научная новизна. Энергопотребление силового электрооборудования подъемных установок шахты рассмотрены в комплексе с добычей железной руды и разными видами систем электроприводов подъемных установок, которые эксплуатируются в Кривбассе, что позволяет анализировать влияние разных факторов на энергетические и экономические показатели подъемных установок при добыче руды.

Практическое значение. Использование результатов работы дает возможность в условиях разных шахт основательно определить пути модернизации механического и электрического оборудования подъемных установок и разрабатывать требования к режимам работы с целью минимизации затрат на электроэнергию.

Результаты. Проанализированы графики добычи руды и потребляемой электроэнергии электроприводов скиповых подъемных установок ведущих шахт ПАО "Кривбассжелезрудком", а также рассчитаны фактические уровни удельных затрат электроэнергии и ее стоимости на этих шахтах. Основными результатами работы являются рекомендации по использованию энергоэффективных систем электроприводов подъемных установок с частотно-регулируемым электроприводом на базе синхронных и асинхронных двигателей и рекомендации для практических расчетов по определению показателей потребления электроэнергии в шахтных сетях питания.

Ключевые слова: регулированный электропривод, преобразователь частоты, подъемная установка, гармоника тока.

Sinchuk O. M., Filipp Yu. B., Kutovyi Yu. M. Development and improvement of electrical equipment of skip hoisting installations

Purpose. To analyze the development of electric drives of skip hoisting installations and to study the modes of their energy consumption in the Krivbas iron ore mines. To achieve this goal, the work analyzes trends in the manufacture of mechanical and electrical equipment for lifting equipment by well-known manufacturers in the world, examines the state of alternating and direct current drives for skip hoisting installations in mines, examines the power consumption modes of electric drives and determines the specific energy consumption and the specific cost of electricity during operation lifting equipment of JSC "Kryvbasalizrudkom".

Research methods. The main attention is paid to statistical data of electricity consumption of mines using automated systems for commercial and technical metering of electricity of mines, the study of the unit cost of electricity and its cost, as well as the analysis of the technical characteristics of power electrical equipment of mine substations and lifting equipment.

Scientific novelty. The power consumption of power electrical equipment for the mine's lifting equipment was considered in conjunction with the extraction of iron ore and various types of electric drive systems for lifting equipment operated in Krivbas. This allows for analyzing the influence of various factors on the energy and economic performance of lifting equipment in ore mining.

Practical value. Using the results of the work makes it possible in the conditions of different mines to fundamentally determine the ways of upgrading the mechanical and electrical equipment of lifting equipment and develop requirements for operating modes in order to minimize energy costs.

Results. The graphs of ore extraction and consumed electric power of electric drives of skip hoisting installations of the leading mines of JSC "Kryvbasalizrudkom", as well as the calculated actual levels of unit costs of electricity and its cost at these mines are analyzed. The main results of the work are recommendations for the use of energy-efficient electric drive systems for lifting units with variable-frequency drives based on synchronous and asynchronous motors and recommendations from practical calculations for determining the indicators of electricity consumption in the mine power networks.

Keywords: regulated electric drive, frequency converter, lifting installation, current harmonics.

УДК 621.914.02

Артемів С.В., Кононов Г.С., Дубровський С.С., Качур О.В. Підвищення технічного рівня роликів стрічкових конвеєрів

В роботі наведено результати досліджень направлених на пошук рішень по підвищенню надійності деталей конвеєрів. Наведено аналіз технологічних та експлуатаційних недоліків існуючих конвеєрних роликів. Визначено необхідність підвищення надійності і ресурсу роботи роликів шляхом створення досконалішої і технологічнішої конструкції. Що дозволить підвищити надійність стрічкових конвеєрів в цілому. В даній роботі запропоновано зміни в конс-

трукції ущільнення, а саме використання комбінованого ущільнення, що б забезпечило потрібний рівень герметичності.

Мета. Є визначення основних причин відмов роликів стрічкових конвеєрів які призводять до зупинок та передчасного руйнування деталей опор. Розробка пропозицій по підвищенню надійності та терміну безвідмовної експлуатації опор роликів стрічкових конвеєрів.

Методи досліджень. Використано методи комп'ютерного моделювання, розрахунковий модуль FloSimulation, процесу руху повітря в лабіринтовому ущільненні з метою визначення можливих течій повітря в проміжках лабіринтових ущільнень підшипникового вузла.

Наукова новизна. Наведено результати моделювання які доводять, що в каналах лабіринтового ущільнення присутній рух повітря внаслідок обертання другої частини ущільнення, яке в даному випадку працює як робоче колесо відцентрового насоса, та в наслідок нагрівання корпусу при взаємодії із стрічкою в процесі роботи, що спричиняє підвищення тиску в середині корпусу та збільшує перепад тиску в порівнянні із зовнішнім.

Практична значимість. Наведено практичні рекомендації для запобігання проникненню абразивних частинок під час зупинок конвеєру та доведено необхідність використання комбінованих ущільнень.

Результати. Визначено основні причини проникнення абразивних часток крізь лабіринтне ущільнення. Запропоновано при визначенні ресурсних можливостей роликів також враховувати кількість зупинок в процесі експлуатації. На основі отриманих результатів спрогнозовано термін служби лабіринтового ущільнення.

Результати можуть бути використанні гірничо-металургійній і інших галузях промисловості.

Ключові слова: ролики, підшипник, ущільнення, лабіринт, конвеєр, моделювання, корпус.

Артемов С.В., Кононов Г.С., Дубровский С.С., Качур А.В. Повышение технического уровня роликов ленточных конвееров

В работе приведены результаты исследований, направленных на поиск решений по повышению надежности деталей конвейеров. Приведен анализ технологических и эксплуатационных недостатков существующих конвейерных роликов. Определена необходимость повышения надежности и ресурса работы роликов путем создания более совершенной и более технологической конструкции. Что позволит повысить надежность ленточных конвейеров в целом. В данной работе предложены изменения в конструкции уплотнения, а именно использование комбинированного уплотнения, которое обеспечило бы необходимый уровень герметичности.

Цель. Есть определение основных причин отказов роликотопор ленточных конвейеров которые приводят к остановкам и преждевременному разрушению деталей опор. Разработка предложений по повышению надежности и срока безотказной эксплуатации опор роликов ленточных конвейеров.

Методы исследований. Использованы методы компьютерного моделирования, расчетный модуль FloSimulation, процесса движения воздуха в лабиринтных уплотнениях с целью определения возможных течений воздуха в промежутках лабиринтных уплотнений подшипникового узла.

Научная новизна. Приведены результаты моделирования доказывающие, что в каналах лабиринтного уплотнения присутствует движение воздуха вследствие вращения второй части уплотнения, которое в данном случае работает как рабочее колесо центробежного насоса, а также в результате нагрева корпуса при взаимодействии с лентой в процессе работы, что приводит к повышению давления внутри корпуса и увеличивает перепад давления по сравнению с внешним.

Практическая значимость. Приведены практические рекомендации для предотвращения проникновения абразивных частиц во время остановок конвейера и доказана необходимость использования комбинированных уплотнений.

Результаты. Определены основные причины проникновения абразивных частиц сквозь лабиринтное уплотнение. Предложено при определении ресурсных возможностей роликотопор также учитывать количество остановок в процессе эксплуатации. На основе полученных результатов спрогнозировано срок службы лабиринтного уплотнения.

Результаты могут быть использованы горно-металлургической и других отраслях промышленности.

Ключевые слова: ролики, подшипник, уплотнения, лабиринт, конвейер, моделирование, корпус.

Artemov S.V., Kononov G.S., Dubrovskiy S.S., Kachur O.V. Enhancing the technical level of rollers of ribbon conveyors
The paper presents the results of research aimed at finding solutions to increase the reliability of conveyor parts. The analysis of technological and operational defects of current conveyor rollers is presented. The necessity of increasing the reliability and life of the work of rollers is determined by creating a more perfect and technologically advanced design. That will increase the reliability of belt conveyors in general. In this paper, changes in the design of the seal, namely the use of a combined seal, which would provide the desired level of hermeticism, were proposed.

Purpose. There is a definition of the main causes of bounce roller bearings of belt conveyors that lead to stops and premature destruction of the parts of the supports. Development of proposals for increasing the reliability and duration of non-failure operation of the pillars of tape conveyor rollers.

Research methods. Computer simulation methods, calculation module FloSimulation, process of air movement in labyrinth seals are used in order to determine possible airflow in the intervals of labyrinth seals of the bearing unit.

Scientific novelty. The simulation results show that in the channels of the labyrinth seal there is an air movement due to the rotation of the second part of the seal, which in this case acts as a rotary impeller of the centrifugal pump, and as a result of the heating of the body when interacting with the tape during the work, which causes an increase in the pressure in the middle the case and increases the pressure drop in comparison with the outside.

Practical value. Practical recommendations are given for preventing the penetration of abrasive particles during conveyor stops and the need to use combined seals is proved.

Results. The basic causes of penetration of abrasive particles through the labyrinth seal are determined. It is recommended that the number of stops in the process of operation be taken into account when determining the resource possibilities of a video. On the basis of the obtained results, the lifetime of the labyrinth seal is predicted.

The results can be used in mining and metallurgy and other industries.

Keywords: rollers, bearings, seals, labyrinth, conveyor, modeling, body.

УДК 622.012:624.9-027.45

Бровко Д.В., Хворост В.В. Построение моделей возможных дефектов объектов поверхности шахт в виде анализа статистических данных их технических осмотров

Цель. Создание одного из методов оценки технического состояния элементов конструкций зданий и сооружений поверхности шахт - метода анализа распространения дефектов, позволяющий, в условиях напряженного состояния конструктивного элемента, на стадии проектирования определить будущие работы по обеспечению надежной эксплуатации и установить высокий уровень безопасности объектов поверхности шахт.

Методы исследований. Разработана аналитическая модель распространения дефектов в условиях напряженного состояния конструктивного элемента. Данные, по результатам экспериментальных исследований элементов конструкций промышленных объектов шахт, дали возможность определить параметры кинетического уравнения с использованием принципов регрессионного анализа, что в свою очередь позволило получить зависимость, характеризующую промежуток времени до разрушения определенного дефекта при различных значениях, действующих или возникающих нагрузок. Выполненные расчеты позволяют предположить, что выявление дефекта больше зависит от величины начального дефекта, чем от величины нагрузки.

Научная новизна. Научная новизна предложенного в работе метода – адекватное описание оценки и анализа надежности выполнения работ при обследовании и реконструкции промышленных объектов шахт с учетом представления результатов выполнения работ в виде статистических данных с учетом математического моделирования возможных дефектов.

Практическая значимость. Создание метода анализа распространения дефектов, который позволяет определять направление работ по обеспечению надежной эксплуатации и установить высокий уровень безопасности объектов поверхности шахт. В результате проведения предложенных мероприятий повышается уровень надежности эксплуатируемого объекта, что влечет за собой сохранение как материальных активов, так и жизни работников предприятия.

Результаты. Получена модель, позволяющая определить надежность элементов эксплуатируемых зданий и сооружений поверхностного комплекса в виде зависимости от конструктивных параметров элемента и параметра распределения начального дефекта, значения которого, имея априорное распределение, после поступления информации приобретают апостериорное распределение, что позволяет обоснованно формировать эксплуатационную надежность всей системы. Предложенная методика определения надежности эксплуатируемых зданий и сооружений поверхности может быть использована на практике для оценки вида технического состояния и безопасного остаточного ресурса.

Ключевые слова: объекты поверхности шахт, надежность, дефект, напряженное состояние

Бровко Д.В., Хворост В.В. Побудова моделей можливих дефектів об'єктів поверхні шахт у вигляді аналізу статистичних даних їх технічних оглядів

Мета. Створення одного з методів оцінки технічного стану елементів конструкцій будівель і споруд поверхні шахт - методу аналізу поширення дефектів, що дозволяє, в умовах напруженого стану конструктивного елемента, на стадії проектування визначити майбутні роботи по забезпеченню надійної експлуатації та встановити високий рівень безпеки об'єктів поверхні шахт.

Методи досліджень. Розроблено аналітичну модель поширення дефектів в умовах напруженого стану конструктивного елемента. Дані, за результатами експериментальних досліджень елементів конструкцій промислових об'єктів шахт, дали можливість визначити параметри кінетичного рівняння з використанням принципів регресійного аналізу, що в свою чергу дозволило отримати залежність, що характеризує проміжок часу до руйнування певного дефекту при різних значеннях, діючих або виникаючих навантажень. Виконані розрахунки дозволяють припустити, що виявлення дефекту більше залежить від величини початкового дефекту, ніж від величини навантаження.

Наукова новизна. Наукова новизна запропонованого в роботі методу - адекватний опис оцінки та аналізу надійності виконання робіт при обстеженні і реконструкції промислових об'єктів шахт з урахуванням представлення результатів виконання робіт у вигляді статистичних даних з урахуванням математичного моделювання можливих дефектів.

Практична значимість. Створення методу аналізу поширення дефектів, який дозволяє визначати напрямки робіт по забезпеченню надійної експлуатації та встановити високий рівень безпеки об'єктів поверхні шахт. В результаті проведення запропонованих заходів підвищується рівень надійності об'єкта, що знаходиться в експлуатації, і дозволяє збереження як матеріальних активів, так і життя працівників підприємства.

Результати. Отримано модель, що дозволяє визначити надійність елементів будівель і споруд поверхневого комплексу, що знаходяться в експлуатації, у вигляді залежності від конструктивних параметрів елемента і параметра розподілу початкового дефекту, значення якого, маючи априорне розподілення, після надходження інформації набувають апостериорне розподілення, що дозволяє обґрунтовано формувати експлуатаційну надійність всієї системи. Запропонована методика визначення надійності будівель і споруд поверхні може бути використана на практиці для оцінки виду технічного стану та безпечного залишкового ресурсу.

Ключові слова: об'єкти поверхні шахт, надійність, дефект, напружений стан

Brovko D.V., Khvorost V.V. Models of possible mine surface objects defects as statistical data analysis of technical inspection

Purpose. Developing the method for analyzing the defect distribution as one of the methods for assessing the technical condition of structural elements of mine facilities. The defect distribution method allows in the design phase to determine reliable and safe operation of the structural element in conditions of a stressed state, as well as to enable a high level of safety of the surface objects of mines.

Research methods. The analytical model of the defect distribution in conditions of a stressed state of a structural element is proposed. The outcomes of experimental studies of structural elements of mine facilities made it possible to determine the parameters of the kinetic equation by means of regression analysis. Hence, the time-interval dependence before the destruc-

tion of a certain defect of different values of the acting or expected loads has been obtained. Estimations suggest that identification of the defect is more dependent on the value of the initial defect than on the value of the load.

Scientific novelty. The scientific novelty of the proposed method lies in adequate description of the assessment of the reliable survey and reconstruction of industrial facilities of mines on the base of the study results including statistics, as well as mathematical modeling of possible defects.

Practical value. The method for analyzing defect distribution is a key opportunity to set a clear direction for further reliable operation and establish a high level of safety of the surface objects of mines. The above-mentioned activities have resulted in a significant improvement of reliability of the exploited facilities, thus, preservation of both tangible assets and lives of enterprise's employees.

Results. An obtained model for determining the reliability of the elements of the operated buildings and structures of the surface complex is a dependence of the design parameters of the element and the distribution parameter of the initial defect. After the information arrives, parameter of the initial defect having an a priori distribution acquires an a posteriori distribution that makes it possible to form the operational reliability of the entire system. The proposed methodology for determining the reliability of operated buildings and surface structures can be used in practice to assess technical condition and a safe residual resource.

Keywords: surface objects of mines, reliability, defect, stress state

УДК 622.271.4.012.3

Несмашный Е.А., Ткаченко Г.И., Болотников А.В. Применение метода конечных элементов для оценки степени устойчивости групп уступов и бортов карьера № 3 ЧАО «ЦГОК»

Цель. Целью данной работы является решение актуальной научно-технической задачи, позволяющей оперативно, с минимальными трудозатратами и достаточной точностью оценить степень устойчивости бортов и уступов железорудных карьеров.

Методы исследования. Авторы использовали основные теоретические и вычислительные особенности реализации метода конечных элементов применительно к задаче расчета устойчивости бортов карьера. Для решения этих задач предлагается использовать метод конечных элементов, реализованный в пакете прикладных программ PLAXIS 8.2. Для расчета устойчивости породных откосов с применением PLAXIS 8.2, был использован режим Phi-c reduction (расчет безопасности). В основу данного режима положен расчет устойчивости путем пошагового снижения прочностных характеристик (угол внутреннего трения и коэффициент молекулярного сцепления) породного массива вплоть до момента его разрушения.

Значение коэффициента запаса устойчивости борта карьера и групп уступов определялась как отношение заданных параметров прочности и параметров прочности, соответствующих моменту разрушения породного откоса. Для построения геомеханической схемы расчета, в качестве базовой, использована математическая модель Кулона-Мора, описывающая зависимость касательных напряжений от величины приложенных нормальных напряжений в горной породе обладающей конкретными физико-механическими свойствами. Особое внимание при выполнении геомеханических расчетов уделялось вопросу моделирования слабого обводненного слоя, расположенного в основании группы уступов сооруженных в песчано-глинистых массивах.

Научная новизна. Расширены границы и получили дальнейшее развитие автоматизированные методы расчета устойчивости.

Практическое значение. Расчет степени устойчивости бортов карьера № 3 ЧАО «ЦГОК» выполнен с учетом реального положения горных работ на 01.01.2019г.

Результаты. Полученные результаты расчетов показали, что состояние просчитанных бортов карьера на 01.01.2019г можно считать устойчивым. Также установлены потенциальные опасные участки, для которых были разработаны и предложены практические рекомендации, которые позволят повысить безопасность и эффективность ведения горных работ.

Ключевые слова: метод конечных элементов, борт карьера, геомеханическая схема расчета, коэффициент запаса устойчивости

Несмашний Є.О., Ткаченко Г.І., Болотніков А.В. Використання методу кінцевих елементів для оцінки ступеня стійкості груп уступів і бортів кар'єру бортов кар'єра №3 ПРАТ «ЦГЗК»

Мета. Метою статті є рішення актуальної науково – технічної задачі, що полягає у розробленні оперативної методики оцінки стійкості уступів і бортів залізрудних кар'єрів на прикладі кар'єру №3 ПРАТ «ЦГЗК».

Методи дослідження. Авторами використовувались основні теоретичні та обчислювальні особливості реалізації методу кінцевих елементів щодо застосування його при розрахунках стійкості відкритих гірничих виробок. Метод кінцевих елементів був реалізований у пакеті прикладних програм PLAXIS версії 8.2 з використанням режиму Phi-c reduction (розрахунок безпеки). Розрахунок стійкості виконувався методом поетапного зниження міцнісних характеристик (кута внутрішнього тертя і коефіцієнта молекулярного зчеплення) до мінімальних значень при яких вже відбувається зруйнування масиву. Відношення вихідних заданих параметрів міцності до параметрів межі міцності, при яких відбувається руйнування, визначало величину коефіцієнта запаса стійкості уступів або бортів кар'єру. В якості геомеханічної схеми розрахунку використовувалась базова модель Кулона-Мора. Враховувалась обводненість основи бортів кар'єра.

Наукова новизна. Набув подальшого розвитку метод автоматизованого розрахунку стійкості. Обґрунтовано максимально припустимі безпечні кути нахилу уступів, груп уступів і бортів кар'єру №3 ПРАТ «ЦГЗК», що є основою вибору для оптимального технічного рішення на кінець відпрацювання родовища.

Практична значимість. Розрахунок ступеня стійкості бортів кар'єру № 3 ПАТ «ЦГЗК» виконано з урахуванням реального стану гірничих робіт на 01.01.2019г.

Результати. Отримані результати розрахунків показали, що стан прорахованих бортів кар'єру на 01.01.2019р можна вважати стійким. Також встановлені потенціальні небезпечні ділянки, для яких були розроблені і запропоновані практичні рекомендації, які дозволять підвищити безпеку і ефективність ведення гірничих робіт.

Ключові слова: метод кінцевих елементів, стійкість уступів і бортів залізрудних кар'єрів, коефіцієнт запасу стійкості, геомеханічні процеси.

Nesmashnyi E.A., Tkachenko G.I., Bolotnikov A.V. Finite element method for assessing the slope and wall stability of the pit No.3 PJSC "CGOK"

Purpose. The purpose of the work is to solve an actual scientific and technical problem, which consists in the development of an operational methodology for assessing the stability of the ledges and sides of iron ore quarries

Research methods. The authors used the basic theoretical and computational features of the implementation of the finite element method as applied to the problem of calculating the stability of the pit walls. It is proposed to use the finite element method implemented in the software package PLAXIS 8.2. To calculate the stability of rock slopes using PLAXIS 8.2, Phi-c reduction (safety calculation) was used. This mode is based on the calculation of stability by step-by-step reduction of the strength characteristics (angle of internal friction and molecular adhesion coefficient) of the rock mass until its destruction. The value of the stability factor of the pit wall and groups of ledges was determined as the ratio of the specified strength parameters and strength parameters corresponding to the moment of destruction of the rock slope. To build a geomechanical calculation scheme, the Coulomb-Mohr mathematical model was used as a baseline, describing the dependence of tangential stresses on the magnitude of applied normal stresses in a rock with specific physical and mechanical properties. Special attention was paid to the issue of modeling a weak water-bearing layer located at the base of a group of ledges constructed in sandy-clay massifs when performing geomechanical calculations.

Scientific novelty. The borders were expanded and automated methods for calculating the stability of the sides of iron ore quarries were further developed.

Practical value. The calculation of the stability of the pit walls No. 3 PJSC "CGOK" was made taking into account the real situation of mining operations on 01.01.2019.

Results. The obtained results of calculations showed that the state of the calculated quarry sides on 01.01.2019 can be considered as stable. Also, the potential hazardous sites are identified, for which practical recommendations on increase the safety and efficiency of mining operations have been developed.

Keywords: finite element method, pit wall, geomechanical calculation scheme, stability factor

УДК 66-03

Жученко О. А., Коротинський А. П. Дослідження впливу розрідження на температурний режим процесу випалювання вуглецевих виробів на етапі камера «під вогнем»

Мета. Відомо, що якість кінцевої продукції випалювання вуглецевих виробів залежить від багатьох факторів, найважливішим з них є температурний режим. Дослідження зв'язку температурного поля печі в залежності від технологічних параметрів, та їх раціональне використання дозволяє досягти меншого виходу бракованої продукції. Тому є важливим моделювання цих процесів з врахуванням максимальної кількості факторів впливу, яке дозволить мінімізувати час та вартість виробництва готової продукції. Саме тому, дослідження температурних полів, а відповідно особливостей температурних режимів заготовок при впливі розрідження на температурний режим роботи камери печі випалювання вуглецевих виробів на етапі «під вогнем», що дозволить мінімізувати перепад температур по заготовкам та є важливим етапом розробки системи керування даним процесом, яка повинна забезпечувати вихід готової продукції відповідної якості.

Методи дослідження. У якості методу дослідження застосовувався метод математичного моделювання на базі моделі, що побудована на основі осереднених за Рейнольдсом рівняннях Нав'є-Стокса (RANS). На основі чисельного моделювання проведено дослідження впливу розрідження на температурний режим роботи камери печі випалювання вуглецевих виробів на етапі «під вогнем». Дослідження впливу розрідження проводиться шляхом порівняння температурних режимів камери печі при різних режимах роботи печі, а саме при розрідженні 50 Па та 100 Па.

Наукова новизна. Виявлено закономірності зміни середнього значення перепаду температур по заготовкам при різних режимах роботи печі. Основну увагу дослідження було приділено питанням однорідності температурного поля заготовок, що суттєво впливає на їх якість.

Практична значимість. Отримані результати зміни максимальних та мінімальних температур по кожній із заготовок можуть бути використані при розробці вдосконаленого регламенту ведення кампанії випалювання. Проведене дослідження спрямоване на підвищення ефективності процесу випалювання вуглецевих виробів.

Результати. Результати проведеного чисельного моделювання засвідчили суттєвий вплив розрідження на температурний режим процесу випалювання на етапі «під вогнем». Збільшення розрідження призводить до зменшення абсолютних значень температур по всьому об'ємові печі та одночасно призводить до зменшення величин перепадів температур у заготовках, які випалюються.

Ключові слова: випалювання, вуглецеві вироби, моделювання, розрідження, температурні поля, камера «під вогнем».

Жученко А. А., Коротинский А. П. Исследование влияния разрежения на температурный режим процесса обжига углеродных изделий на этапе камера «под огнем»

Цель. Известно, что качество конечной продукции выжигания углеродных изделий зависит от многих факторов, важнейшим из них является температурный режим. Исследование связи температурного поля печи в зависимости от технологических параметров и их рациональное использование позволяет достичь меньшего выхода бракованной продукции. Поэтому важно моделирование этих процессов с учетом максимального количества факторов влияния, которое позволит минимизировать время и стоимость производства готовой продукции. Именно поэтому, исследования температурных полей, а соответственно особенностей температурных режимов заготовок при воздействии разрежения на температурный режим работы камеры печи обжига углеродных изделий на этапе «под огнем», что

позволит мінімізувати перепад температур по заготовкам і являється важливим етапом розробки системи управління даним процесом, которая должна обеспечивать выход готовой продукции соответствующего качества.

Методи дослідження. В качестве метода исследования применялся метод математического моделирования на базе модели, построенной на основе усредненных за Рейнольдсом уравнений Навье-Стокса (RANS). На основе численного моделирования проведено исследование влияния разрежения на температурный режим работы камеры печи обжига углеродных изделий на этапе «под огнем». Исследование влияния разрежения проводится путем сравнения температурных режимов камеры печи при различных режимах работы печи, а именно при разрежении 50 Па и 100 Па.

Научная новизна. Выявлены закономерности изменения среднего значения перепада температур по заготовкам при различных режимах работы печи. Основное внимание исследования было уделено вопросам однородности температурного поля заготовок, которое существенно влияет на их качество.

Практическая значимость. Полученные результаты изменения максимальных и минимальных температур по каждой из заготовок могут быть использованы при разработке усовершенствованного регламента ведения кампании выжигания. Проведенное исследование направлено на повышение эффективности процесса обжига углеродных изделий.

Результаты. Результаты проведенного численного моделирования показали существенное влияние разрежения на температурный режим процесса обжига на этапе «под огнем». Увеличение разрежения приводит к уменьшению абсолютных значений температур по всему объему печи и одновременно приводит к уменьшению величин перепадов температур в заготовках, которые выжигаются.

Ключевые слова: обжиг, углеродные изделия, моделирование, разрежение, температурные поля, камера «под огнем».

Zhuchenko O. A., Korotynskyi A. P. Underpressure while carbon products baking in the chamber at the "under fire" stage **Purpose.** It is known that the quality of the final product of baking carbon products depends on many factors, the most important of them is the temperature. Investigation of the temperature field of the furnace depending on the technological parameters allows to achieve a lower output of defective products. It is important to simulate this process, taking into account a number of factors, that will minimize the time and cost of finished products. The study of temperature fields and the characteristics of the temperature regimes of blanks under influence of underpressure on the temperature of the furnace chamber of carbon products at the "fire" stage is an important stage in the development of a control system of this process and ensures the output of finished products of the appropriate quality.

Research methods. The method of mathematical modeling was used based on a model Navier-Stokes equations averaged over the Reynolds equation (RANS). Influence of underpressure on the temperature regime of the chamber of the baking furnace of coal products at the stage "under fire" is investigated. The study of the effect of the dilution is carried out by comparing the temperature modes of the furnace chamber under different operating conditions of the furnace, namely when diluting 50 Pa and 100 Pa.

Scientific novelty. The regularities of the temperature changes across the billets at different operating modes of the furnace were revealed. The main attention of the research was paid to the issues of homogeneity of the temperature field of blanks, which significantly affects their quality.

Practical value. The results of changes in the maximum and minimum temperatures for each of the cooking can be used to develop an improved firing campaign rules. The conducted research is aimed at increasing the efficiency of baking carbon products.

Results. The results of the numerical simulation showed a significant influence of the dilution on the temporal regime of the burning process at the "under fire" stage. The increase in the dilution leads to a decrease in the absolute values of temperatures throughout the volume of the furnace and at the same time leads to a decrease in the values of temperature fluctuations in the billets burned out.

Keywords: baking, carbon products, modeling, underpressure, temperature fields, chamber "under fire".

УДК 622.267.5

Чередник В.А. Вугільна промисловість України у розрізі світових кліматичних цілей

Мета. Метою роботи є комплексне дослідження сучасного стану вугільної промисловості України під час імплементації світових практик у сфері запобігання зміні клімату. Даний процес представить нові можливості для пошуку та впровадження інноваційних розробок у галузі видобутку, переробки викопних видів палива, виробництва, трансформації, постачання і споживання енергії, що зумовлює потребу у формуванні нової енергетичної політики.

Методи дослідження. Використовувався метод аналізу та узагальнення інформації щодо загальносвітових тенденцій розвитку паливно-енергетичного комплексу та впровадження їх відповідно до «Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Одним з таких напрямків розвитку є добування шахтного метану вугільних родовищ, що дозволить вирішити одночасно кілька завдань: використовувати видобутий метан для вироблення електричної та теплової енергії; зменшити викиди метану в атмосферу, що відповідає світовим заходам боротьби зі зміною клімату; знизити обсяг виділення метану в гірничі виробки і тим самим підвищити безпеку і ефективність видобутку вугілля.

Наукова новизна. Поставлені наукові задачі, що необхідно вирішити для оцінки колекторських властивостей газоносного породного масиву, що підроблюється.

Практична значимість дослідження, що планується виконати, дозволить розробити методику пошуку зон активно-го скупчення метану.

Результати. Сформульовані мета, методи і основні задачі дослідження технологій та технологічних засобів управління процесами видобування метану задля промислового використання та збільшення безпеки видобування вугілля. Представлені матеріали, які підтверджують, що метан представляє не тільки основну небезпеку у шахтах та глобальну екологічну шкоду, але у той самий час виступає у якості високоякісного джерела палива та хімічної сировини.

Доведено, що раціональне використання шахтного метану є важливим кроком з досягнення кліматичних та екологічних цілей України.

Ключові слова: вугільна промисловість, Паризька угода, парникові гази, шахтний метан.

Чередник В.А. Угольная промышленность Украины в разрезе мировых экологических целей

Цель. Целью работы является комплексное исследование современного состояния угольной промышленности Украины во время имплементации мировых практик в сфере предотвращения изменения климата. Данный процесс представит новые возможности для поиска и внедрения инновационных разработок в области добычи, переработки ископаемых видов топлива, производства, трансформации, поставки и потребления энергии, что приводит к необходимости формирования новой энергетической политики государства.

Методы исследования. Использовался метод анализа и обобщения информации по общемировым тенденциям развития топливно-энергетического комплекса и внедрение их в соответствии с «Энергетической стратегией Украины на период до 2035 года «Безопасность, энергоэффективность, конкурентоспособность». Одним из таких направлений развития является добыча шахтного метана угольных месторождений, что позволит решить одновременно несколько задач: использовать добытый метан для выработки электрической и тепловой энергии; уменьшить выбросы метана в атмосферу, что соответствует мировым мерам с сфере борьбы с изменением климата; снизить объем выделения метана в горные выработки и тем самым повысить безопасность и эффективность добычи угля.

Научная новизна. Поставленные научные задачи, необходимо решить для оценки коллекторских свойств разрабатываемого газоносного породного массива.

Практическая значимость исследования, которое планируется выполнить, позволит разработать методику поиска зон активного скопления метана.

Результаты. Сформулированы цель, методы и основные задачи исследования технологий и технологических средств управления процессами добычи метана для промышленного использования и повышения безопасности добычи угля. Представленные материалы подтверждают, что метан представляет не только основную опасность в шахтах и глобальную экологическую проблему, но в то же время выступает в качестве высококачественного источника топлива и химического сырья. Доказано, что рациональное использование шахтного метана является важным шагом по достижению климатических и экологических целей Украины.

Ключевые слова: угольная промышленность, Парижское соглашение, парниковые газы, шахтний метан.

Cherednyk V.A. Ukraine's coal industry in the context of global climate objectives

Purpose. A comprehensive research of the current state of the coal industry of Ukraine. This process is considered in the case of world practices implementation in the field of climate change prevention. This process will provide new opportunities for the search and implementation of innovative developments in the extraction and processing of fossil fuels. Also, in the field of production, transformation, supply and consumption of energy. All these opportunities are necessitating a new state's energy policy formation.

Research methods. The method of analysis and generalization of information on worldwide trends of fuel and energy complex development and implementing them in accordance with the "Energy strategy of Ukraine till 2035: Safety, energy efficiency, competitiveness" are used. One of these areas of development is a coalmine methane mining. It will solve several tasks simultaneously: use methane extracted to generate electricity and thermal energy; to reduce methane emissions into the atmosphere, which corresponds to the global measures to combat climate change; to reduce the amount of methane emissions in mining operations and thus increase the safety and efficiency of coal mining.

Scientific novelty. The scientific problems that need to be solved for assessing the collecting properties of a gas bearing rock mass are set.

Practical value of the research allows developing a method for the zones search of active methane accumulation.

Results. The objective, methods and the main tasks of research of technologies and technological means of methane extraction processes management for industrial use and safety of coal mining are defined.

Keywords: coal industry, The Paris Agreement, greenhouse gases, coalmine methane.

УДК 622.1:528.02

Федоренко П.Й., Долгіх О.В., Долгіх Л.В. Аналіз факторів, що впливають на положення реперів профільних ліній спостережної станції.

Мета. Метою є дослідження території, яка знаходиться над виробленим простором та під впливом тектонічного розлому земної кори. Наведено результати дослідження території шахти ім. Орджонікідзе, де у 2010 році сталося масштабне обвалення земної поверхні. Через ділянку, яка підпрацьована підземними гірничими роботами, проходить тектонічний розлом земної кори, який, як підтвердили дослідження, теж впливає на стан поверхні та споруд.

Методи дослідження. Актуальна задача дослідження сумісного впливу підземних гірничих робіт та тектонічного розлому земної кори на стан земної поверхні та поряд розташованих будівель і споруд, вирішена методами інструментальних вимірів та аналітичних розрахунків.

Наукова новизна. Розглядається питання про виконання повторного визначення координат осьових пунктів, які визначалися раніше, при будівництві шахти, і знаходяться в журналі координат пунктів маркшейдерської мережі шахти. Процес визначення координат осьових пунктів, які у подальшому можуть використовуватися для дослідження деформаційних процесів на території шахти та прилеглих ділянках, виявився непростим, так як необхідно було прийняти за вихідні, пункти триангуляції та полігонометрії з яких раніше виконувалися ці роботи. Відомо, що з часом пункти геодезичної мережі втрачаються.

Практична значимість. Для виключення помилок з визначених координат точок, виконано аналіз архівних документів щодо виконання робіт зі створення та розвитку маркшейдерсько-геодезичної мережі на об'єкті досліджень, визначені пункти вихідного обґрунтування, від яких будувалася початкова маркшейдерсько-геодезична мережа. Також були визначені координати перманентної станції із використанням GPS-технологій. Ці координати були використані, як вихідні, для визначення координат точок, які раніше були отримані з пунктів, на сьогодні неіснуючих.

Результати. На основі виконаних вимірів та аналізу результатів опрацювання координат точок, отриманих з різних циклів спостережень, визначені величини деформацій на території промислового майдану у межах ділянки трикутника, обмеженого вихідними пунктами. Необхідно зазначити, що величини зміни положень точок, що характеризуються деформаціями земної кори, мають порядок числа 10^{-4} та менше, але на досліджуваній ділянці виявлені утворені тераси по лінії розлому, що свідчить про прояви впливу саме тектонічного розлому.

Ключові слова: деформації, тектонічний розлом, перманентна станція, координати точок

Федоренко П.И., Долгих А.В., Долгих Л.В. Анализ факторов, влияющих на положение реперов профильных линий наблюдательной станции

Цель. Целью является исследование территории, расположенной над выработанным пространством и под влиянием тектонического разлома земной коры. Приведены результаты исследования территории шахты им. Орджоникидзе, где в 2010 году произошло масштабное обрушение земной поверхности. Через участок, который подработан подземными горными работами, проходит тектонический разлом земной коры, который, как подтвердили исследования, также влияет на состояние поверхности и сооружений.

Методы исследования. Актуальная задача исследования совместного влияния подземных горных работ и тектонического разлома земной коры на состояние земной поверхности и вблизи расположенных зданий и сооружений, решена методами инструментальных измерений и аналитических расчетов.

Научная новизна. Рассматривается вопрос о выполнении повторного определения координат осевых пунктов, которые определялись раньше, при строительстве шахты, и находятся в журнале координат пунктов маркшейдерской сети шахты. Процесс определения координат осевых пунктов, которые в дальнейшем могут использоваться для исследования деформационных процессов на территории шахты и близлежащих участках, оказался непростым, так как необходимо было принять за исходные, пункты триангуляции и полигонометрии с которых раньше выполнялись эти работы. Известно, что со временем пункты геодезической сети теряются.

Практическая значимость. Для исключения ошибок из определенных координат точек, выполнен анализ архивных документов относительно выполнения работ по созданию и развитию маркшейдерско-геодезической сети на объекте исследований, определены пункты исходного обоснования, от которых строилась начальная маркшейдерско-геодезическая сеть. Также были определены координаты перманентной станции с использованием GPS-технологий. Эти координаты были использованы, как исходные, для определения координат точек, которые раньше были получены из пунктов, на сегодня несуществующих.

Результаты. На основе выполненных измерений и анализа результатов обработки координат точек, полученных из разных циклов наблюдений, определены величины деформаций на территории промышленной площади в пределах участка треугольника, ограниченного исходными пунктами. Необходимо заметить, что величины изменения положений точек, которые характеризуются деформациями земной коры, имеют порядок числа 10^{-4} и меньше, но определено, но на исследуемом участке обнаружены появившиеся террасы по линии разлома, что свидетельствует о проявлении влияния именно тектонического разлома.

Ключевые слова: деформации, тектонический разлом, перманентная станция, координаты точек

Fedorenko, P.Yo., Dolgikh O.V., Dolgikh L.V. Factors affecting the position of the profile line benchmarks of the observation station

Purpose. To study the territory located above the developed space and under the influence of the tectonic fracture of the Earth's crust. The study results of the territory of the Ordzhonikidze mine, where in 2010 there was a large-scale collapse of the earth's surface are presented. The tectonic break of the earth's crust passes through a site that is undermined by underground mountain works and which, as confirmed by studies, also affects the state of the surface and structures.

Research methods. The actual problem of studying the joint influence of underground mining and tectonic fracture of the earth's crust on the state of the earth's surface and near buildings and structures located is solved by methods of instrumental measurements and analytical calculations.

Scientific novelty. The article discusses the issue of re-determining the coordinates of the axial points, which were determined earlier during the construction of the mine, and are in the coordinate log of the points of the mine surveyor's network. The process of determining the coordinates of the axial points, which can later be used to study the deformation processes in the mine and the surrounding areas, proved to be difficult, since it was necessary to take the starting points of triangulation and polygonometry from which these works were performed. It is known that over time, the points of the geodetic network are lost.

Practical value. To exclude errors from certain coordinates of points, an analysis of archival documents regarding the creation and development of a surveyor-geodetic network at the research site was performed, the points of initial justification were determined, from which the initial surveyor-geodetic network was built. The coordinates of the permanent station were also determined using GPS technology. These coordinates were used as the original, to determine the coordinates of points that were previously obtained from points that are non-existent today.

Results. On the basis of the measurements and analysis of the results of processing the coordinates of points obtained from different observation cycles, the magnitude of the deformations in the industrial area within the area of the triangle bounded by the starting points was determined. It should be noted that the magnitudes of changes in the positions of points that are characterized by deformations of the earth's crust are of the order of 10^{-4} or less, but it is determined that terraces along the fault line were found in the area under study, which indicates the manifestation of the influence of a tectonic fault.

Keywords: deformations, tectonic fault, permanent station, coordinate of points.

УДК 622.233

Рудь Ю. С., Кучма В. В., Белоножко В. Ю. О динамической устойчивости става штанг станков шарошечного бурения СБШ-250

Станки шарошечного бурения типа СБШ-250 различных модификаций широко применяются на отечественных и зарубежных предприятиях при добыче полезных ископаемых открытым способом. Несмотря на большой опыт эксп-

луатації станків і масштабні наукові дослідження режимів їх роботи, остається не вирішеною проблема виникнення інтенсивної вібрації при спробі інтенсифікації режимів буріння в межах технічних можливостей станка. Покращена вібрація знижує продуктивність станка, збільшує число поломок його основних вузлів і металоконструкцій, прискорює зносування різьбових з'єднань штанг і значно знижує проходку на долото, що не дозволяє в повній мірі використовувати проектні можливості станка.

Цілью статті являється дослідження проблеми зниження вібрацій бурового става станка СБШ-250 і вибір раціональних режимів експлуатації.

Метод дослідження комплексний: аналітичний при аналізі літературних джерел; теоретичний при виборі параметрів буріння; експериментальний при визначенні амплітуди вимушених поперечних коливань става.

Науковою новизною являється те, що встановлені критерії стійкості става штанг станка СБШ-250МНА-32 з урахуванням впливу вібрацій не тільки мачти, але і всього станка.

Практичне значення. Розрахунковим шляхом оцінена динамічна стійкість бурових ставів, що застосовуються в даний час в верстатах СБШ-250 і дані рекомендації по вибору раціональних режимів експлуатації.

Результати. Проведені дослідження показали, що у верстатах СБШ-250МНА-32 при форсуванні режиму буріння за рахунок збільшення до максимуму частоти обертання $n = 120$ 1/хв і зусилля подачі до $P_{\text{под}} = 294$ кН бурового става штанг діаметром $D = 219 \dots 146$ мм і довжиною $l = 16 \dots 32$ м втрачає динамічну сталість і викривляється. Викривлений буровий став здійснює вимушені поперечні коливання з частотою його обертання. Коли частота вимушених коливань збігається з частотою власних поперечних коливань бурового става його механічна система входить у резонанс. При цьому амплітуда коливань бурового става може зростати необмежено. Тому вібруючий став штанг стає джерелом інтенсивних вібрацій не тільки шогли, але і всього верстата.

Ключові слова: станок шарошечного буріння, став штанг, динамічна стійкість, поперечні коливання, резонанс.

Рудь Ю. С., Кучма В. В., Білоножко В. Ю. Про динамічну стійкість ставів штанг верстатів шарошечного буріння СБШ-250

Верстати шарошечного буріння типу СБШ-250 різних модифікацій широко застосовуються на вітчизняних і закордонних підприємствах при видобутку корисних копалин відкритим способом. Незважаючи на великий досвід експлуатації верстатів і масштабні наукові дослідження режимів їх роботи, залишається не вирішеною проблема виникнення інтенсивної вібрації при інтенсифікації режимів буріння в межах технічних можливостей верстата. Підвищена вібрація знижує продуктивність верстата, збільшує число поломок його основних вузлів і металоконструкцій, прискорює спрацювання різьбових з'єднань штанг і значно знижує проходку на долото, що не дозволяє в повній мірі використовувати проектні можливості верстата.

Метою статті є дослідження проблеми зниження вібрацій бурового става верстата СБШ-250 і вибір раціональних режимів експлуатації.

Метод дослідження комплексний: аналітичний при аналізі літературних джерел; теоретичний при виборі параметрів буріння; експериментальний при визначенні амплітуди вимушених поперечних коливань става.

Науковою новизною є те, що встановлені критерії стійкості става штанг верстата СБШ-250МНА-32 з урахуванням впливу вібрацій не тільки шогли, але і всього верстата.

Практичне значення. Розрахунковим шляхом оцінена динамічна стійкість бурових ставів, що застосовуються в даний час в верстатах СБШ-250 та надано рекомендації щодо вибору раціональних режимів експлуатації.

Результати. Проведені дослідження показали, що у верстатах СБШ-250МНА-32 при форсуванні режиму буріння за рахунок збільшення до максимуму частоти обертання $n = 120$ 1/хв і зусилля подачі до $P_{\text{под}} = 294$ кН бурового става штанг діаметром $D = 219 \dots 146$ мм і довжиною $l = 16 \dots 32$ м втрачає динамічну сталість і викривляється. Викривлений буровий став здійснює вимушені поперечні коливання з частотою його обертання. Коли частота вимушених коливань збігається з частотою власних поперечних коливань бурового става його механічна система входить у резонанс. При цьому амплітуда коливань бурового става може зростати необмежено. Тому вібруючий став штанг стає джерелом інтенсивних вібрацій не тільки шогли, але і всього верстата.

Ключові слова: верстат шарошечного буріння, став штанг, динамічна стійкість, поперечні коливання, резонанс.

Rud Yu. S., Kuchma V. V., Belonozhko V. Yu. Dynamic stability of the stang stands of the roller drilling machines SBSH-250

Roller drilling machines SBSH-250 of various modifications are widely used in domestic and foreign enterprises for the extraction of mineral resources by the open method. Despite the extensive experience of operating machines and large-scale scientific research of their working modes, the problem of the occurrence of intense vibration when trying to intensify drilling modes within the technical capabilities of the machine remains unsolved. Increased vibration reduces the productivity of the machine, increases the number of breakdowns of its main components and metal structures, accelerates the wear of threaded connections of the rods and significantly reduces the penetration of the bit. This does not allow full use of the design capabilities of the machine.

The purpose of the article is to study the problem of reducing the vibration of the drill rod of the SBSH-250 machine and the choice of rational modes of operation.

Complex research method: analytical, theoretical and experimental.

The scientific novelty is that the criteria for the stability of the rod of the SBSH-250MNA-32 machine have been established, taking into account the influence of the vibrations of the mast and the machine.

Practical value. The dynamic stability of drill rigs currently used in SBSH-250 machines has been estimated by calculation, and recommendations have been given for choosing rational operating modes.

Results. Studies have shown that the SBSH-250 MNA-32 machine forcing the drilling mode by increasing the rotational speed to the maximum of $n = 120$ 1 / min and feed force up to $P_{\text{под}} = 294$ kN drill rod $D = 219 \dots 146$ mm and $l = 16 \dots 32$ m

loses dynamic stability and is bent. The bent drilling rig performs forced transverse oscillations with the frequency of its rotation. When the frequency of forced oscillations coincides with the frequency of natural transverse oscillations of a drill rod, its mechanical system enters into resonance. In this case, the amplitude of oscillations of the drill rod can increase without limit. Therefore, the vibrating rod becomes a source of intense vibrations of the mast and machine.

Keywords: polishing machine, rod, dynamic stability, transverse vibrations, resonance.

УДК 622.28.04

Лапшин О.Є., Гацький А.К., Гацький І.А. Розробка конструкції запобіжного рухомого кріплення при проведенні гірничих виробок

Стаття присвячена розробці та обґрунтування конструктивних елементів запобіжного рухомого кріплення гірничих виробок. Відсутність зручних, надійних та мобільних захисних засобів, які могли б забезпечити безпечне виконання робіт робітниками у привибійній зоні, є проблемою на даний час в гірничодобувній промисловості, а саме у сфері проходження горизонтальних гірничих виробок.

Метою цього дослідження є розробка нового конструктивно-технологічного рішення при проведенні та кріпленні гірничих виробок в залізрудних та інших галузях гірничодобувної промисловості. Що дозволить підвищити виробничі потужності, зменшити економічні витрати, а також зберегти необхідні розміри і форму поперечного перерізу виробки, при цьому забезпечити безпечні умови для роботи людей.

Метод дослідження. Використано комплексний підхід, який включає аналіз і узагальнення науково-технічної інформації, щодо кріплення гірничих виробок різного перерізу та забезпечення безпеки працюючих гірників.

Новизна отриманих результатів полягає у тому, що запропонована конструкція запобіжного рухомого кріплення гірничих виробок потребує застосування допоміжного транспортного засобу для її пересування та підвищує безпеку працюючих за рахунок використання рухомого модуля рам, що мають верхнє і бокове перекриття з відпрацьованої конвеєрної стрічки.

Практична цінність запропонованого запобіжного рухомого кріплення гірничих виробок полягає у тому, що досягається зниження енерговитрат за рахунок використання пневматичного двигуна, який забезпечує самостійний рух захисної конструкції. Зникає необхідність застосування спеціального обладнання для пересування по гірничим виробкам всієї захисної конструкції.

Результат полягає у тому, що зникає необхідність зайвого застосування допоміжних транспортних засобів для руху кріплення при проведенні гірничих виробок, а також розширюється можливість захисту працюючих від травмування падаючими кусками гірської породи, у різних умовах проведення гірничих виробок.

Ключові слова: запобіжне рухоме кріплення, гірничі виробки, кріплення, безпека, травмування людей, самостійний рух.

Лапшин О.Е., Гацкий А.К., Гацкий И.А. Разработка конструкции предохранительного движущегося крепления при проведении горных выработок

Статья посвящена разработке и обоснованию конструктивных элементов предохранительного движущегося крепления горных выработок. Отсутствие удобных, надежных и мобильных защитных средств, которые могли бы обеспечить безопасное выполнение работ рабочими в призабойной зоне, является проблемой в настоящее время в горнодобывающей промышленности, а именно в сфере прохождения горизонтальных горных выработок.

Целью настоящего исследования является разработка нового конструктивно-технологического решения при проведении и креплении горных выработок в железорудных и других отраслях горнодобывающей промышленности. Что позволит повысить производительные мощности, уменьшить экономические затраты, а также сохранить необходимые размеры и форму поперечного сечения выработки, при этом обеспечить безопасные условия для работы людей.

Метод исследования. Использован комплексный подход, включающий анализ и обобщение научно-технической информации по креплению горных выработок различного сечения и обеспечения безопасности работающих горняков.

Новизна полученных результатов заключается в том, что предложенная конструкция предохранительного движущегося крепления горных выработок не требует применения вспомогательного транспортного средства для ее передвижения и повышает безопасность работающих за счет использования подвижного модуля рам, имеющих верхнее и боковое перекрытие с отработаны конвейерной ленты.

Практическая ценность предложенного предохранительного движущегося крепления горных выработок состоит в том, что достигается снижение энергозатрат за счет использования пневматического двигателя, который обеспечивает самостоятельное движение защитной конструкции. Исчезает необходимость применения специального оборудования для передвижения по горным выработкам всей защитной конструкции.

Результат состоит в том, что пропадает необходимость излишнего применения вспомогательных транспортных средств для движения крепления при проведении горных выработок, а также расширяется возможность защиты работающих от травмирования падающими кусками горной породы, в различных условиях проведения горных выработок.

Ключевые слова: предохранительное движущееся крепление, горная выработка, крепление, безопасность, травмирование людей, самостоятельное движение.

Lapshyn O.Ye., Hatskyi A.K., Hatskyi I.A. Designing of safety mobile support for drifting operations

The article deals with designing and substantiating the structural elements of the safety movable supports in the mine workings. Absence of convenient, reliable and mobile safety means to enhance safe mining operations in the bottom hole zone is a current problem of mining, in particular, in drifting operations.

Purpose. Developing a new design and technology solution while supporting mine workings in iron ore and other mining fields. It allows improving production capacities, reducing economic expenses and maintaining required sizes and forms of the working crosscut in safe working conditions.

Research methods. A complex approach includes analysis and generalization of scientific and technical information on mine working supports of various crosscuts and miners' safety provision.

Scientific novelty The suggested design of the safety mobile support does not require any auxiliary transport means to move it and increases workers' safety due to a mobile module of frames with the upper and side canopy made of the spent conveyor belt.

Practical value. The suggested safety mobile support of mine workings is achieved by reducing power consumption due to a pneumatic motor providing independent motion of the safety construction. There is no need to use specific equipment to move the whole structure along mine workings.

The research results include absence of necessity to use auxiliary transport means to move supports during mining operations. It also protects miners from injuries by falling rock pieces under various mining conditions.

Keywords: safety mobile support, mine working, support, safety, injuries, independent motion.

УДК 622.013:622.34

Азарян А. А., Зубкевич В. Ю., Швець Д. В. Разработка комплексной системы для повышения качественных показателей железной руды

Цель. Разработка методов и средств снижения потери руд и засорения взорванной горной массы путем оперативного контроля положения наклонной скважины в массиве горных пород с использованием современных средств определения пространственной ориентации.

Метод исследования. Предложена функциональная схема и принцип работы универсального комбинированного устройства - инклинометра в сочетании с каротажным зондом, что дает возможность оперативно получать и передавать содержание полезного компонента, в соответствии с положением и ориентацией зонда в скважине.

Научная новизна. Впервые предложено объединить в единую систему каротажный зонд и инклинометр, что позволяет создать объемную модель обрабатываемого массива горных пород, позволяющая минимизировать потери и засорение взорванной горной массы.

Практическая значимость. В разработанной системе реализованы функции контроля текущей ориентации инклинометра, контроля пройденного пути вдоль перемещения инклинометра, синхронного накопления данных, подачи аварийной сигнализации через канал связи, а также предложены функции магнитометрического, радиометрического контроля и визуализации положения скважины в массиве горных пород. Суммарная информация, получаемая от инклинометров и каротажного зонда, позволяет разрабатывать трехмерные модели рудного массива, что дает возможность прогнозировать качественно-количественные параметры взорванной рудной массы и определить количество эксплуатационных скважин, отклоненных за контактную зону в область «пустых пород».

Результаты. Разработан универсальный модульный каротажный зонд наклонных скважин. Определена архитектура инклинометра, позволяющая получить необходимые основные данные по инклинометрии скважины и дополнительные каротажные данные скважины в зависимости от конкретной конфигурации инклинометра. Использование инклинометра данной конструкции позволит точно совмещать пространственные параметры наклонной скважины с ее техническими, физическими, минералогическими и химическими параметрами. Точное определение ориентации оси наклонной скважины в каждой точке пространства позволит оптимизировать процессы добычи полезных ископаемых в технологиях, использующих наклонные скважины для буровзрывных работ. Согласно прогнозным данным, использование разработанной системы, сочетающей методы каротажа скважин и инклинометрии, позволит снизить потери руд более, чем на 12 процентов, а засорение руд - на 9 процентов.

Ключевые слова: каротаж, инклинометр, скважина, железная руда, потери руд, засорение руд, оперативный контроль.

Азарян А. А., Зубкевич В. Ю., Швець Д. В. Розробка комплексної системи для підвищення якісних показників залізної руди

Мета. Розробка методів і засобів зниження втрати руд і засмічення підірваної гірничої маси шляхом оперативного контролю положення похилої свердловини в масиві гірських порід з використанням сучасних засобів визначення просторової орієнтації.

Метод дослідження. Запропоновано функціональну схему і принцип роботи універсального комбінованого пристрою - інклінометра в поєднанні з каротажним зондом, що дає можливість оперативно отримувати і передавати вміст корисного компонента, відповідно до положення та орієнтації зонда в свердловині.

Наукова новизна. Вперше запропоновано об'єднати в єдину систему каротажний зонд та інклінометр, що дозволяє створити об'ємну модель опрацьовуваного масиву гірських порід, що дозволяє мінімізувати втрати і засмічення підірваної гірничої маси.

Практична значимість. У розробленій системі реалізовані функції контролю поточної орієнтації інклінометра, контролю пройденого шляху вздовж переміщення інклінометра, синхронного накопичення даних, подання аварійної сигналізації через канал зв'язку, а також запропоновані функції магнітометричного, радіометричного контролю і візуалізації положення свердловини в масиві гірських порід. Сумарна інформація, одержувана від інклінометрів та каротажного зонда, дозволяє розробляти тривимірні моделі рудного масиву, що дає можливість прогнозувати якісно-кількісні параметри підірваної рудної маси і визначити кількість експлуатаційних свердловин, відхилених за контактну зону в область «порожніх порід».

Результати. Розроблено універсальний модульний каротажний зонд похилих свердловин. Визначено архітектуру інклінометра, що дозволяє отримати необхідні основні дані по інклінометрії свердловини і додаткові каротажні дані свердловини в залежності від конкретної конфігурації інклінометра. Використання інклінометра даної конструкції дозволить точно поєднувати просторові параметри похилої свердловини з її технічними, фізичними, мінералогічними і хімічними параметрами. Точне визначення орієнтації осі похилої свердловини в кожній точці простору дозволить оптимізувати процеси видобутку корисних копалин в технологіях, що використовують похилі свердловини для буровибухових робіт. Згідно з прогнозними даними, використання розробленої системи, яка поєднує методи карота-

жу свердловин та інклінометрії, дозволить знизити втрати руд більш, ніж на 12 відсотків, а засмічення руд - на 9 відсотків.

Ключові слова: каротаж, інклінометр, свердловина, залізна руда, втрати руд, засмічення руд, оперативний контроль. Azaryan A. A., Zubkevych V. Yu., Shvets D.V. Development of the complex system for increasing the iron ore qualitative indicators

Purpose. Development of methods and means of reducing the loss of ores and clogging of the blasted rock mass through the operational control of the position of the inclined well in the array of rocks mass using modern means of determining spatial orientation.

Research methods. A functional scheme and principle of operation of a universal combined device - an inclinometer in combination with a logging probe is proposed, which makes it possible to quickly receive and transmit the contents of the useful component in accordance with the position and orientation of the probe in the well.

Scientific novelty. For the first time, it was proposed to combine a logging probe and inclinometer into a single system, which makes it possible to create a volumetric model of the rock mass to be minimized, which minimizes the loss and clogging of the exploded rock mass.

Practical value. In the developed system, the functions of monitoring the current orientation of the inclinometer, monitoring the distance traveled along the inclinometer movement, synchronous data accumulation, alarm signaling through the communication channel are implemented. The functions of magnetometer and radiometric monitoring and visualization of the well position in the rock mass are proposed. The total information received from the inclinometers and the logging probe makes it possible to develop three-dimensional models of the ore massif, in order to predict the qualitative and quantitative parameters of the exploded ore mass and to determine the number of production wells rejected beyond the contact zone in the area of "empty rocks".

Results. A universal modular logging probe for inclined wells was developed. The architecture of the inclinometer has been determined, which allows obtaining the necessary basic data on the inclinometry of the well and additional logging data of the well depending on the specific configuration of the inclinometer. The use of an inclinometer of this design will allow you to accurately combine the spatial parameters of the inclined well with its technical, physical, mineralogical and chemical parameters. Accurate determination of the orientation of the axis of an inclined well at each point in space will allow optimizing the processes of mining minerals in technologies that use inclined wells for drilling and blasting. According to the forecast data, the use of the developed system, combining well logging and inclinometry methods, will reduce ore losses by more than 12 percent, and clogging of ores by 9 percent.

Keywords: electric coring, inclinometer, well, iron ore, ore loss, ore clogging, operational supervision.

УДК 622.271

Пахомов В.І., Гірін І.В., Пристинський М.Г. Дослідження характеристик ефективності екскаваторно-автомобільних комплексів на кар'єрах Кривбасу

Мета. Комплексне дослідження сталого стану транспортування гірничої маси при відкритому способі видобутку корисних копалин гірничо-металургійних комплексів Кривбасу з зазначенням проблем, які потрібно вирішити для підвищення виробничої потужності технологічного кар'єрного автотранспорту.

Методи дослідження. У роботі виконано аналітичні дослідження з використанням вітчизняних статистичних показників стосовно подальших перспектив оптимізації екскаваторно-автомобільних комплексів великої потужності. Застосовано комплексний підхід, що включає узагальнення і аналіз літературних джерел і досліджень в галузі автомобільного кар'єрного транспорту. Використано комплекс методів: узагальнення матеріалів раніше виконаних робіт; експертний аналіз; аналіз досвіду розробки розкривних порід і залізних руд в умовах Кривбасу; методи прикладної математики і математичної статистики; техніко-економічний аналіз з використанням вартісних параметрів.

Наукова новизна. В прийнятті рішень щодо розподілу самоскидів по пунктах навантаження врахований параметр аналітичної залежності взаємозв'язку коефіцієнтів використання часу екскаватора і автосамоскидів; обґрунтовані залежності оптимальної кількості закріплених за екскаватором автосамоскидів від відстані перевезення гірничої маси і, відповідно, оптимальної величини при цьому коефіцієнта використання часу екскаватора, що відрізняється тим, що її використання мінімізує втрати від простой обладнання для різної кількості працюючих самоскидів, а також дозволяє формувати набір оптимальних значень параметрів пріоритетності екскаваторів;

Практична значимість. Дослідження, проведені в даній роботі, дають можливість моделювання та оптимізації різних ситуацій при застосуванні екскаваторно-автомобільних комплексів з урахуванням специфіки технологічних факторів і гірничо-технічних умов конкретних підприємств. Використання запропонованих аналітичних досліджень дає можливість підвищити експлуатаційну продуктивність екскаваторно-автомобільних комплексів за рахунок зняття простой обладнання і в результаті цього збільшити продуктивність кар'єра в цілому.

Результати. За рахунок проведених аналітичних досліджень характеристик екскаваторно-автомобільних комплексів отримані залежності оптимальної кількості закріплених за екскаватором автосамоскидів від відстані перевезення гірничої маси. Встановлено, що при оптимальній кількості закріплених автосамоскидів забезпечується максимальна продуктивність забійного екскаватора. Розглянуті можливі напрямки досліджень, впровадження результатів яких дозволило б досягти підвищення виробничої потужності екскаваторно-автомобільних комплексів при відкритому способі розробки родовищ корисних копалин.

Ключові слова: екскаваторно-автомобільний комплекс, кар'єрний автотранспорт, перевезення гірничої маси.

Пахомов В.И., Гирин И.В., Пристинский Н.Г. Исследование характеристик эффективности экскаваторно-автомобильных комплексов на карьерах Кривбасса

Цель. Комплексное исследование современного состояния транспортировки горной массы при открытом способе добычи полезных ископаемых горно-металлургических комплексов Кривбасса с выявлением проблем, которые необходимо решить для увеличения производственной мощности технологического карьерного автотранспорта.

Методи дослідження. В роботі виконані аналітичні дослідження з використанням вітчизняних статистичних показників стосовно подальших перспектив оптимізації екскаваторно-автомобільних комплексів великої потужності. Застосовано комплексний підхід, який включає узагальнення і аналіз літературних джерел і досліджень в області автомобільного кар'єрного транспорту. Використано комплекс методів: узагальнення матеріалів раніше виконаних робіт; експертний аналіз; аналіз досвіду розробки накривних порід і залізних руд в умовах Кривбасу; методи прикладної математики і математичної статистики; техніко-економічний аналіз з використанням стоимісних параметрів.

Наукова новизна роботи. В прийнятті рішень стосовно розподілу самосвалів по пунктах погрузки враховано параметр аналітичної залежності взаємозв'язку коефіцієнтів використання часу екскаватора і автосамосвалів; обґрунтовано залежність чисельного моделювання оптимальної кількості закріплених до екскаватора автосамосвалів від відстані перевезення гірної маси і, відповідно, оптимальної величини при цьому коефіцієнта використання часу екскаватора, відзначаючи те, що її використання мінімізує втрати від простоїв обладнання для різної кількості працюючих самосвалів, а також дозволяє формувати набір оптимальних значень параметрів пріоритетності екскаваторів.

Практична значимість. Дослідження, проведені в цій роботі, дають можливість моделювання і оптимізації різних ситуацій при застосуванні екскаваторно-автомобільних комплексів з урахуванням специфіки технологічних факторів і гірно-технічних умов конкретних підприємств. Використання запропонованих аналітичних досліджень дає можливість збільшити експлуатаційну продуктивність екскаваторно-автомобільних комплексів за рахунок зменшення простоїв обладнання і в результаті цього збільшити продуктивність кар'єра в цілому.

Результати. За рахунок проведення аналітичних досліджень характеристик екскаваторно-автомобільних комплексів отримані залежності оптимальної кількості закріплених до екскаватора автосамосвалів від відстані транспортування гірної маси. Встановлено, що при оптимальній кількості закріплених автосамосвалів забезпечується максимальна продуктивність робочого екскаватора. Розглянуті можливі напрямки досліджень, впровадження результатів яких дозволило б досягти підвищення виробничої потужності екскаваторно-автомобільних комплексів при відкритим способом розробки родовищ корисних копалин.

Ключові слова: екскаваторно-автомобільний комплекс, кар'єрний автотранспорт, перевезення гірної маси.

Pachomov V.I., Hirin I.V., Prystynskyi M.H. Efficiency characteristics of excavator-truck complex at the Kryvbas quarry
Purpose. To study the current transportation of the rock mass mined by open pit method at the Kryvbas mining and metallurgical complexes for positive impact on the performance of mining machines.

Research methods. Analytical research with the use of domestic statistical indicators for further optimizing high powered excavator-truck complex. Analysis and synthesis of the relevant references data on the mining machines. A number of methods outline generalization of works effectuated earlier, expert analysis, formulation expertise for stripping works and iron ore extraction in Kryvbas; methods of applied mathematics and mathematical statistics; technical and economic analysis using cost indices.

Scientific novelty. The analytical relationship of the operating time coefficients of an excavator and dump trucks is considered in view of their allocation in the loading points; the dependence of the optimal number of dump trucks attached to an excavator on the distance of rock mass transportation and the optimal excavator's operating time is justified. This enables to minimize losses from equipment downtime for working dump trucks, as well as to form a set of optimal values for the priority parameters of excavators.

Practical value. The study makes it possible to simulate and optimize performance of excavator-truck complexes in terms of both the technological factors and the mining - technical conditions of enterprises. The proposed analysis assures increase in operational capability of excavator-truck complexes by reducing equipment downtime and, as a result, increase in productivity of the quarry.

Results. Due to the analytical studies of the characteristics of excavator-truck complex, the dependencies of the optimal number of dump trucks attached to an excavator on the distance of the rock mass transportation were obtained. It has been found that the optimal number of attached dump trucks ensures the maximum performance of an excavator. The possible directions of improving the performance of mining machines in the surface mining operations are considered in the work.

Keywords: excavator-truck complex, mining machines, transportation of the rock mass.

УДК 004.93

Шаповалова Н. Н., Доценко І. О., Щербина В. О. Ідентифікація користувача системи за відбитками пальців на основі методів штучного інтелекту

Мета. Створення біометричної системи контролю доступу з використанням відбитків пальців, оптимізація пошуку еталонних образів відбитків за рахунок використання алгоритмів штучного інтелекту, мінімізація проценту таких біометричних ймовірнісних показників, як хибний доступ до системи і хибна відмова. Впровадження системи у технологію дистанційного банківського обслуговування за типом АТМ-banking і платіжних терміналів.

Методи дослідження. Загальнонаукові методи теоретичного дослідження: аналіз визначених типів відбитків пальців людини за їх основними класами, синтез отриманих даних у формі зображення і перетворення їх у векторну модель, формалізація методів отримання контрольних точок відбитку пальця, моделювання процесу класифікації образів отриманих даних за певними типами відбитків, узагальнення; методи емпіричного дослідження: вивчення досвіду в області поставленого завдання, тестування отриманої моделі; методи об'єктно-орієнтованого проектування та програмування.

Наукова новизна. Проведено класифікацію відбитків пальців людини на основі методу штучного інтелекту – градієнтного бустінгу – спрямованої побудови композиції дерев рішень.

Практична значимість виконаної роботи полягає в значному прискоренні процесу ідентифікації відбитків пальців клієнта в дистанційній системі банківського обслуговування за рахунок того, що пошук еталонного зразка відбитку

пальця виконується не в усій наявній базі, а в підмножині еталонів, які належать до одного з п'яти відомих типів відбитків пальців людини. При цьому точність ідентифікації і надійність системи зберігається.

Результати. Розроблено алгоритм класифікації відбитків пальців за основними їх типами (дуга, ліва петля, права петля, півсфера, завиток тощо) на основі методу машинного навчання – градієнтного бустінгу для прискорення подальшого процесу ідентифікації відбитків пальців клієнта за методом контрольних точок у системі дистанційного банківського обслуговування.

Ключові слова: біометрія, відбитки пальців, метод контрольних точок, класифікація відбитків пальців, машинне навчання, градієнтний бустінг, дистанційне банківське обслуговування.

Шаповалова Н. Н., Доценко И. А., Щербина В. О. Идентификация пользователя системы по отпечаткам пальцев на основе методов искусственного интеллекта

Цель. Создание биометрической системы контроля доступа по отпечаткам пальцев, оптимизация поиска эталонных образов отпечатков за счет использования алгоритмов искусственного интеллекта, минимизация процента таких биометрических вероятностных показателей, как ошибочный доступ к системе и ошибочная отказ. Внедрение системы в технологию дистанционного банковского обслуживания по типу ATM-banking и платежных терминалов.

Методы исследования. Общенаучные методы теоретического исследования: анализ определенных типов отпечатков пальцев человека по их основным классам, синтез полученных данных в форме изображения и преобразования их в векторную модель, формализация методов получения контрольных точек отпечатка пальца, моделирование процесса классификации образов полученных данных по определенным типам отпечатков, обобщения; методы эмпирического исследования: изучение опыта в области поставленной задачи, тестирование полученной модели; методы объектно-ориентированного проектирования и программирования.

Научная новизна. Проведена классификация отпечатков пальцев человека на основе метода искусственного интеллекта – градиентного бустинга – направленного построения композиции деревьев решений.

Практическая значимость выполненной работы состоит в значительном ускорении процесса идентификации отпечатков пальцев клиента в дистанционной системе банковского обслуживания за счет того, что поиск эталонного образца отпечатка пальца выполняется не во всей имеющейся базе, а в подмножестве эталонов, принадлежащих к одному из пяти известных типов отпечатков пальцев человека. При этом точность идентификации и надежность системы сохраняется.

Результаты. Разработан алгоритм классификации отпечатков пальцев по основным их типам (дуга, левая петля, правая петля, полусфера, завиток) на основе метода машинного обучения – градиентного бустинга для ускорения дальнейшего процесса идентификации отпечатков пальцев клиента по методу контрольных точек в системе дистанционного банковского обслуживания.

Ключевые слова: биометрия, отпечатки пальцев, метод контрольных точек, классификация отпечатков пальцев, машинное обучение, градиентный бустинг, дистанционное банковское обслуживание.

Shapovalova N. N., Dotsenko I. O., Shcherbyna V. O. User system identification by fingerprint on the basis artificial intelligence methods

Purpose. Creating a biometric fingerprint access control system, optimizing the search for reference fingerprint images by using artificial intelligence algorithms, minimizing the percentage of biometric probabilistic indicators such as erroneous access to the system and erroneous failure. Introduction of the system into the technology of remote banking services of the ATM-banking type and payment terminals.

Research methods. General scientific methods of theoretical research: analyzing certain types of human fingerprints according to their main classes, synthesizing the data obtained in the form of an image and converting them into a vector model, formalizing methods for obtaining fingerprint test points, modeling the process of classifying images obtained data on certain types of prints, generalizations; empirical research methods: the study of experience in the field of the task, testing the resulting model; object-oriented design and programming techniques.

Scientific novelty. The classification of human fingerprints based on the method of artificial intelligence - gradient boosting - the directional construction of the composition of decision trees.

The practical value of the work is to significantly speed up the process of identifying a client's fingerprints in a remote banking service system, because the search for a reference fingerprint sample is not performed in the entire base, but in a subset of standards belonging to one of the five known types of human fingerprints. At the same time, the accuracy of identification and reliability of the system is maintained.

Results. The algorithm has been developed for the classification of fingerprints according to their main types (arc, left loop, right loop, hemisphere, curl) based on the machine learning method - gradient boosting to speed up the further process of identifying client fingerprints using the method of control points in the remote banking service system.

Keywords: biometrics, fingerprints, test point method, fingerprint classification, machine learning, gradient boosting, remote banking services.

УДК 622.232.72:622.271.33

Вусик О. О., Пищик А. М. Передумови та реалії застосування гірничих комбайнів фрезерного типу на залізрудних кар'єрах

Мета. Проаналізувати технологію розробки гірських порід кар'єрними фрезерними комбайнами при відкритій розробці корисних копалин, як протипагу діючій технології відпрацювання залізрудних крутоспадних покладів із застосуванням буро-підривної підготовки порід до виїмання. Дослідити ефективність застосування гірничих фрезерних комбайнів із забезпеченням мінімальних кількісних та якісних втрат корисних копалин.

Методи дослідження. Досягнення поставленої мети реалізується методами комплексного аналізу проблем та умов сучасної технології розробки залізрудних покладів та їх вирішення шляхом застосування кар'єрних комбайнів фрезерного типу. Аналіз узгодженості ефективної роботи комбайнів фрезерного типу з діючою технологією розроб-

ки гірських порід, що в цілому дозволяє зробити припущення щодо підвищення техніко-економічних показників роботи залізрудних кар'єрів.

Наукова новизна. Застосування комбайнів фрезерного типу дозволяє відпрацьовувати породний масив в складних та обмежених умовах через значну глибину ведення розробки без проведення комплексу буро-підричних робіт, що дозволяє покращити екологічну ситуацію гірничодобувного підприємства, а також об'єднати подрібнення породи, її виїмку та навантаження в один технологічний процес.

Практична значимість. Отримані висновки дають змогу стверджувати про ефективність застосування гірничих комбайнів фрезерного типу на залізрудних кар'єрах, що обумовлено їх складними гірничо-геологічними та гірничотехнічними умовами. Практична реалізація технології пошарового фрезерування породного масиву кар'єрними фрезерними комбайнами дозволить скоротити ланцюг технологічних процесів гірничого виробництва та зменшити вартість видобувних та розкривних робіт.

Результати. Встановлено, що технологія розробки гірських порід з використанням комбайнів фрезерного типу у повній мірі прийнятна для впровадження до сучасного стану робіт у залізрудних кар'єрах. Виходячи з цього, подальші дослідження будуть направлені на обґрунтування та встановлення раціональних параметрів елементів системи розробки крутоспадних залізрудних покладів та їх залежність від робочих та технологічних параметрів фрезерних комбайнів.

Ключові слова: залізрудний кар'єр, розробка, породний масив, фрезерування, гірничий комбайн.

Вусык О. А., Пыжик А. Н. Предпосылки и реалии применения горных комбайнов фрезерного типа на железорудных карьерах

Цель. Проанализировать технологию разработки горных пород карьерными фрезерными комбайнами при открытой разработке полезных ископаемых, как противовес действующей технологии отработки железорудных крутопадающих залежей с применением буро-взрывной подготовки пород к выемке. Исследовать эффективность применения горных фрезерных комбайнов с обеспечением минимальных количественных и качественных потерь полезных ископаемых.

Методы исследования. Достижение поставленной цели реализуется методами комплексного анализа проблем и условий современной технологии разработки железорудных месторождений и их решения путём применения карьерных комбайнов фрезерного типа. Анализ согласованности эффективной работы комбайнов фрезерного типа с действующей технологией разработки горных пород, в целом позволяет сделать предположение о повышении технико-экономических показателей работы железорудных карьеров.

Научная новизна. Применение комбайнов фрезерного типа позволяет отрабатывать породный массив в сложных и ограниченных условиях через значительную глубину ведения разработки без проведения комплекса буро-взрывных работ, что позволяет улучшить экологическую ситуацию горнодобывающего предприятия, а также объединить дробление породы, её выемку и погрузку в один технологический процесс.

Практическая значимость. Полученные выводы позволяют утверждать об эффективности применения горных комбайнов фрезерного типа на железорудных карьерах, что обусловлено их сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями. Практическая реализация технологии послойного фрезерования породного массива карьерными фрезерными комбайнами позволит сократить цепь технологических процессов горного производства и уменьшить стоимость добычных и вскрышных работ.

Результаты. Установлено, что технология разработки горных пород с использованием комбайнов фрезерного типа в полной мере приемлема для внедрения к современному состоянию работ в железорудных карьерах. Исходя из этого, дальнейшие исследования будут направлены на обоснование и установление рациональных параметров элементов системы разработки крутопадающих железорудных залежей и их зависимость от рабочих и технологических параметров фрезерных комбайнов.

Ключевые слова: железорудный карьер, разработка, породный массив, фрезерования, горный комбайн.

Vusyk O. O., Pyzhik A. M. Prerequisites and realities of the use of mining mill combines in the iron ore pits

Purpose. Consider the development of rocks by mining milling combines under open development, as a counterweight to the current technology of working out of iron-ore pitch-dipping deposits without conducting drilling and blasting preparations for removal. To investigate the efficiency of the use of milling combines with the provision of minimum values of losses and degradation of minerals.

Research methods. Achievement of the set purpose of the work is carried out by the methods of complex analysis, in which modern problems and conditions characteristic for the development of iron ore deposits and the achievement of their solution by the use of mill combine harvesters are disclosed. Analysis of their effective coherence with the existing technology of rocks development, which in general allows making assumptions about increasing the technical and economic performance of iron ore pits.

Scientific novelty. The use of milling combines allows you to cultivate a rock massif in limited conditions for drilling and blasting methods of preparing rocks for removal, to improve the ecological situation of a mining company, to perform milling, dredging and loading in one working cycle, combining two technological processes into one.

Practical value. The obtained conclusions allow to assert about the effectiveness of the use of mining combines milling type in iron ore pits, which is due to their complex mining and geological and mining conditions. Practical implementation of the technology of layer-by-layer milling of the rock massif by mining milling combines will allow to reduce the chain of technological processes of mining production and reduce the cost of mining and overburden works.

Results. It is established that the technology of mining of rocks with the use of combines milling type is fully acceptable for introduction to the current state of work in iron ore pits. Proceeding from this, further studies will be aimed at justifying and establishing rational parameters of the elements of the system for the development of pitch-dipping iron ore deposits and their dependence on the working and technological parameters of milling combines.

Keywords: iron ore pit, development, rock massif, milling, mining combine.

УДК 621.548

Лобов В.Й., Лобова К.В., Даць А.В. Супервізорне керування режимами роботи газоповітряної енергетичної установи

Мета. Метою даного дослідження є питання застосування технології компанії National Instruments з розробкою SCADA системи у програмному середовищі LabVIEW для супервізорного керування роботою технологічного устаткування і газоповітряною енергетичною установкою, призначеної для вироблення електричної енергії при використанні відпрацьованої кінетичної енергії газоповітряних потоків технологічного устаткування.

Методи дослідження. Для супервізорного керування процесом вироблення електроенергії та моніторингу роботи виробничим устаткуванням і газоповітряною енергетичною установкою застосована технологія компанії National Instruments. Запропоновано Supervisory Control And Data Acquisition систему в середовищі розробки Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench для збору і обробки даних на комп'ютері про роботу виробничого устаткування і газоповітряної енергетичної установи.

Наукова новизна. Уперше запропоновано супервізорне керування процесом вироблення електроенергії газоповітряною енергетичною установкою. Розроблені нові елементи віртуального приладу для супервізорного керування.

Практична значимість. Полягає в можливості проектування нових високоефективних газоповітряних енергетичних установок, що поєднують в собі прості в експлуатації системи керування при виробленні електричної енергії.

Результати. Показано, що сучасне виробниче устаткування з газоповітряною енергетичною установкою не в повній мірі забезпечується системами візуалізації, моніторингу і управління апаратно-програмними засобами і мають прості схеми автоматики. Для взаємодії газоповітряної енергетичної установи з комп'ютером розроблені наступні віртуальні пристрої: «Send Receive», «Init», «Close», «Send Receive», «GetParameters», «GetStatus» і «SetParameters». Розроблена віртуальна модель дозволяє супервізорне керування процесом вироблення альтернативної електричної енергії. При цьому використовується технологія компанії National Instruments. Запропоновано Supervisory Control And Data Acquisition систему в середовищі розробки Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench для збору і обробки даних на комп'ютері про роботу виробничого устаткування і газоповітряної енергетичної установи. Мікроконтролер газоповітряної енергетичної установи реалізовано на платі Arduino Uno. Плата має USB канал для підключення до комп'ютеру через послідовний порт. Для обробки даних на комп'ютері та відправлення даних на газоповітряну енергетичну установку розроблено програмне забезпечення.

Ключові слова: виробниче устаткування, газоповітряна енергетична установка, віртуальна модель, супервізорне керування.

Лобов В.В., Лобова К.В., Даць А.В. Супервизорное управление режимами работы газовой энергетической установки

Цель. Целью данного исследования является вопрос применения технологии компании National Instruments с разработкой SCADA системы в программной среде LabVIEW для супервизорного управления работой технологического оборудования и газовой энергетической установкой, предназначенной для выработки электрической энергии при использовании отработанной кинетической энергии газовоздушных потоков технологического оборудования.

Методы исследования. Для супервизорного управления процессом выработки электроэнергии и мониторинга работы производственным оборудованием и газовой энергетической установкой применена технология компании National Instruments. Предложено Supervisory Control And Data Acquisition систему в среде разработки Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench для сбора и обработки данных на компьютере о работе производственного оборудования и газовой энергетической установки.

Научная новизна. Впервые предложено супервизорное управление процессом выработки электроэнергии газовой энергетической установкой. Разработаны новые элементы виртуального прибора для супервизорного управления.

Практическая значимость. Заключается в возможности проектирования новых высокоэффективных газовой энергетических установок, сочетающих в себе простые в эксплуатации системы управления при выработке электроэнергии.

Результаты. Показано, что современное производственное оборудование с газовой энергетической установкой не в полной мере обеспечиваются системами визуализации, мониторинга и управления аппаратно-программными средствами и имеют простые схемы автоматики. Для взаимодействия газовой энергетической установки с компьютером разработаны следующие виртуальные устройства: «Send Receive», «Init», «Close», «Send Receive», «GetParameters», «GetStatus» и «SetParameters». Разработана виртуальная модель позволяет супервизорное управления процессом выработки альтернативной электроэнергии. При этом используется технология компании National Instruments. Предложено Supervisory Control And Data Acquisition систему в среде разработки Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench для сбора и обработки данных на компьютере о работе производственного оборудования и газовой энергетической установки. Микроконтроллер газовой энергетической установки реализовано на плате Arduino Uno. Плата имеет USB канал для подключения к компьютеру через последовательный порт. Для обработки данных на компьютере и отправки данных на газовой энергетическую установку разработано программное обеспечение.

Ключевые слова: производственное оборудование, газовоздушная энергетическая установка, виртуальная модель, супервизорное управления.

Lobov V. I., Lobova K. V., Dats A. V. Supervision control of air-gas power plant operation

Purpose. Apply supervisory control to the process of developing alternative electric energy using a gas-fired power plant that uses the spent kinetic energy of the gas-air flows of the production equipment with the visualization of operating modes.

Research methods. For the supervisory control of the power generation process and the monitoring of the operation of the industrial installation and the gas-air power plant, the technology of the company National Instruments is used. The Supervisory Control And Data Acquisition system is proposed in the development environment of the Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench.

tation Engineering Workbench for collecting and processing data on the computer about the operation of the production equipment and gas-air power plant.

Scientific novelty. For the first time, supervisory control of the power generation process by the gas-air power plant was proposed. Developed new elements of the virtual device for supervisory control.

Practical value. It lies in the possibility of designing new high-performance gas-air power plants, combining easy operation of the control system in the generation of electric energy.

Results. Modern production equipment with a gas-air power plant has shown that it is not fully equipped with visualization systems, monitoring and control of hardware and software tools and has simple automation schemes. Developed virtual devices for interaction of gas-air power plant with a computer: Send Receive, Init, Close, Send Receive, GetParameters, GetStatus, and SetParameters. The developed virtual model allows for supervisory control of the process of developing alternate electric energy. In this case, the technology of National Instruments is used. The Supervisory Control And Data Acquisition system is proposed in the development environment of the Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench for collecting and processing data on the computer about the operation of the production equipment and gas-air power plant. Microcontroller I gas-air energy installation made Arduino Uno board. The board has a USB port for connecting to a computer through a serial port. Software for processing data on a computer and sending data to a gas-air power installation.

Keywords: production equipment, gas-air power plant, virtual model, supervisory control.

УДК 622.234.4: 622.349.5: 622.831

Калініченко О.В. Фізичне моделювання стійкості масиву при формуванні та підтримці підземних гірських виробок
Мета. Метою даної роботи є розробка методики фізичного моделювання стійкості масиву при формуванні та підтримці підземних гірських виробок в умовах напружено деформованого стану масиву.

Методи дослідження. Для визначення несучої здатності та стійкості гірського масиву при формуванні та підтримці підземних виробок в умовах напружено деформованого стану масиву в роботі виконувалися експериментальні дослідження на моделях з еквівалентних матеріалів. Лабораторними дослідженнями встановлено та визначено якісні закономірності розвитку деформацій масиву гірських порід, комбінованих штучних масивів та умови їх функціонування при відпрацюванні як багатих залізних руд, так і бідних магнетитових кварцитів підземним способом.

Аналіз методів моделювання, заснованих на теорії подібності дозволив зробити висновок, що при моделюванні на статичних моделях обов'язково необхідно дотримуватися масштабу моделювання. Тому в процесі моделювання дотримані критерії подібності, що забезпечують подібність механічних процесів та пропорційність фізичних констант, які мають вирішальне значення для досліджуваного явища.

Наукова новизна. В процесі лабораторного експерименту вперше була отримана картина напружень і деформацій в гірському масиві при очисних роботах на ділянці родовища, що моделювала шахтне поле ш. Гігант-Глибока. Визначені залежності та встановлені закономірності несучої здатності та стійкості масиву магнетитових кварцитів при формуванні та підтримці підземних гірських виробок в умовах його напружено деформованого стану.

Практична значимість. Запропонована методика фізичного моделювання несучої здатності та стійкості масиву при формуванні та підтримці очисних камер в умовах напружено деформованого стану гірського масиву при відпрацюванні магнетитових кварцитів підземним способом. Отримана фізична картина деформації денної поверхні при формуванні та існуванні очисних камер довгострокового консервування на трьох робочих горизонтах.

Результати. На підставі виконаних досліджень та встановлених залежностей визначено зміну напружено-деформованого стану масиву в умовах шахтного поля ш. Гігант-Глибока. Доведена доцільність заповнення існуючих камер закладочними сумішами. Це дозволяє забезпечити безпеку та можливість подальших робіт та гарантує збереження денної поверхні в зоні впливу існуючих відпрацьованих камер.

Ключові слова: фізичне моделювання, підземні виробки, очисні камери, напружено деформований стан, гірський масив.

Калиниченко Е.В. Физическое моделирование устойчивости массива при формировании и поддержании подземных горных выработок

Цель. Целью данной работы является разработка методики физического моделирования устойчивости массива при формировании и поддержании подземных горных выработок в условиях напряженно деформированного состояния массива.

Методы исследования. Для определения несущей способности и устойчивости горного массива при формировании и поддержании подземных выработок в условиях напряженно деформированного состояния массива в работе выполнялись экспериментальные исследования на моделях из эквивалентных материалов. Лабораторными исследованиями установлены и определены качественные закономерности развития деформаций массива горных пород, комбинированных искусственных массивов и условия их функционирования при отработке как богатых железных руд, так и бедных магнетитовых кварцитов подземным способом.

Анализ методов моделирования, основанных на теории подобия позволил сделать вывод, что при моделировании на статических моделях обязательными является условия соблюдения масштаба моделирования. Поэтому в процессе моделирования соблюдены критерии подобия, обеспечивающих сходство механических процессов и пропорциональность физических констант, которые имеют решающее значение для исследуемого явления.

Научная новизна. В процессе лабораторного эксперимента впервые была получена картина напряжений и деформаций в горном массиве при очистных работах на участке месторождения, которое моделировало шахтное поле ш. Гигант-Глубокая. Определены зависимости и установлены закономерности несущей способности и устойчивости массива магнетитовых кварцитов при формировании и поддержании подземных горных выработок в условиях его напряженно деформированного состояния.

Практическая значимость. Предложена методика физического моделирования несущей способности и устойчивости массива при формировании и поддержании очистных камер в условиях напряженно деформированного состояния горного массива при отработке магнетитовых кварцитов подземным способом. Полученна физическая картина

деформации дневной поверхности при формировании и существовании очистных камер долгосрочного консервирования на трех рабочих горизонтах.

Результаты. На основании выполненных исследований и установленных зависимостей определено изменение напряженно-деформированного состояния массива в условиях шахтного поля ш. Гигант-Глубокая. Доказана целесообразность заполнения существующих камер закладочными смесями. Это позволит обеспечить безопасность и возможность дальнейших работ и гарантирует сохранность дневной поверхности в зоне влияния существующих отработанных камер.

Ключевые слова: физическое моделирование, подземные выработки, очистные камеры, напряженно-деформированное состояние, горный массив.

Kalinichenko O.V. Physical modeling of massif stability when forming and supporting underground workings

Purpose. The article is aimed at developing methods of physical modeling of massif stability when forming and supporting underground workings under stress-strain conditions of the massif.

Research methods. The article presents the equivalent material model study carried out to determine the bearing capacity and stability of rocks when forming and supporting underground workings under stress-strained conditions. Laboratory investigations have resulted in determining qualitative regularities of strain development in rocks, combined artificial massifs and conditions of their functioning when mining both rich iron ores and lean magnetite quartzite by the underground method. Analysis of modeling methods based on the theory of similarity enables concluding that a modeling scale must be observed in static modeling. Thus, similarity criteria have been considered to ensure similarity of mechanical processes and proportionality of physical constants crucial for the phenomenon under study.

Scientific novelty. During the laboratory investigations there has been for the first time obtained a pattern of stresses and strains in rocks at stoping on the deposit area modeling the mine field of the Hihant Hlyboka underground mine. There have been obtained dependencies and regularities of the bearing capacity and stability of the magnetite quartzite massif when forming and supporting underground workings in its stress-strained conditions.

Practical value. There are suggested methods of physical modeling of massif stability when forming and supporting stopes in stress-strained conditions in mining magnetite quartzite by the underground method. There is obtained a physical pattern of the daylight surface strain when forming stopes of long-term conservation and their availability on three working levels.

Results. The conducted investigations and determined dependencies have resulted in detecting change of the stress-strain state of the rocks of the mine field of the Hihant Hlyboka underground mine. The proved expedience of filling the current stopes with backfill mixtures enables ensuring safety of further operations and preservation of the daylight surface within the dead stope influence zone.

Keywords: physical modeling, underground workings, stopes, stress-strain state, rock massif.

УДК 622.23

Громадський А.С., Громадський В.А., Громадський Вік.А., Чумак Ю.І. Обоснование рациональных эксплуатационных параметров оборотов буровых ставов станков шарошечного бурения

Цель. Повышение производительности бурения станка шарошечного бурения за счет обоснования рациональных эксплуатационных параметров вращения бурового става.

Методы исследования. В работе использован комплекс методов научных исследований, включающий теорию подобия и анализа размерностей, теорию скейлинга или масштабную инвариантность, теорию спектрального анализа колебаний бурового става и метод суперпозиции – при решении дифференциальных уравнений.

Научная новизна полученных результатов заключается в том, что:

- впервые установлена зависимость появления флаттера бурового инструмента вследствие совпадения частоты его вращения с собственной частотой поперечных колебаний бурового става;
- впервые установлены путем математического моделирования нелинейные безразмерные зависимости частот и амплитуд поперечных собственных колебаний бурового става как от параметров вращения става, так и от внешних возмущений.

Практическое значение. Выполнен теоретический анализ эффективности амортизаторов изгибных колебаний – НСП, установлено, что они позволяют значительно (в 6 раз) уменьшить поперечные колебания бурового става до 26 мм, однако не исключают появление флаттера бурового инструмента, поэтому обоснован выбор более эффективной системы виброгашения с накладными скользящими полумуфтами (НСП).

Разработана система гашения поперечных колебаний с НСП, эффективность которой проверена расчетами и смоделирована с помощью SolidWorks.

Разработана действующая модель станка шарошечного бурения, которая позволяет производителю станков шарошечного бурения ООО «Завод буровой техники «ДСД» выбирать рациональные параметры систем гашения поперечных колебаний буровых ставов, разработан эскизный проект и рабочая документация действующей модели, изготовление которой начато на ООО «Завод буровой техники «ДСД», г. Кривой Рог.

Разработанные рабочие чертежи действующей модели внедрены в проект на ООО «Завод буровой техники «ДСД».

Результаты. Разработана система гашения поперечных колебаний бурового става с амортизаторами изгибных колебаний (НСП) она снижает вибрацию бурового става в 7,4 раза и исключает флаттер бурового инструмента.

Ключевые слова: станки шарошечного бурения, рациональные параметры оборотов бурового става, система гашения вибрации.

Громадський А.С., Громадський В.А., Громадський Вік.А., Чумак Ю.І. Обґрунтування раціональних експлуатаційних параметрів оборотів бурових ставів верстатів шарошечного буріння

Мета. Підвищення продуктивності буріння верстата шарошечного буріння за рахунок обґрунтування раціональних експлуатаційних параметрів обертання бурового става.

Методи дослідження. У роботі використаний комплекс методів наукових досліджень, що включає теорію подібності та аналізу розмірностей, теорію скейлінга або масштабну інваріантність, теорію спектрального аналізу коливань бурового става і метод суперпозиції - при вирішенні диференціальних рівнянь.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

- вперше встановлена залежність появи флатера бурового інструменту внаслідок збігу частоти його обертання з власною частотою поперечних коливань бурового става;

- вперше встановлені шляхом математичного моделювання нелінійні безрозмірні залежності частот і амплітуд поперечних власних коливань бурового става як від параметрів обертання става, так і від зовнішніх збурень.

Практичне значення. Виконано теоретичний аналіз ефективності амортизаторів згинальних коливань - НСП, встановлено, що вони дозволяють значно (в 6 разів) зменшити поперечні коливання бурового става до 26 мм, однак не виключають появу флатера бурового інструменту, тому обґрунтований вибір більш ефективної системи віброгашення з накладними легкими напівмуфтами (НСП).

Розроблено систему гасіння поперечних коливань з НСП, ефективність якої перевірена розрахунками і змодельована за допомогою SolidWorks . Розроблено діюча модель верстата шарошечного буріння, яка дозволяє виробнику верстатів шарошечного буріння ТОВ «Завод бурової техніки» ДСД »вибирати раціональні параметри систем гасіння поперечних коливань бурових ставів, розроблений ескізний проект і робоча документація діючої моделі, виготовлення якої розпочато на ТОВ« Завод бурової техніки « ДСД », м. Кривий Ріг.

Розроблені робочі креслення діючої моделі впроваджені в проект на ТОВ «Завод бурової техніки ДСД».

Результати. Розроблено систему гасіння поперечних коливань бурового става з амортизаторами згинальних коливань (НСП) вона знижує вібрацію бурового става в 7,4 рази і виключає флатер бурового інструменту.

Ключові слова: верстати шарошечного буріння, раціональні параметри оборотів бурового става, система гасіння вібрації.

Gromadski A.S., Gromadski V.A., Gromadski Vik.A., Chumak Yu.I. Rationale for the sustainable operational parameters of drilling string rotations in rotary drilling rigs

Purpose. To improve drilling efficiency of a rotary drilling rig with the rationale for the sustainable operational parameters of drilling string rotation.

Research methods. The complex of scientific methods, i.e. theory of similarity and dimensions, scaling theory or scaling invariance, theory of spectral analysis of drilling string vibrations and method of superposition, has been used to solve differential equations.

Scientific novelty. The dependence of drilling tools flutter presence due to the coincidence of its rotation frequency and drilling string natural transverse vibrations frequency has been determined in the study. The nonlinear dimensionless dependencies of frequencies and amplitudes of drilling string natural transverse vibrations on both drilling string rotation parameters and external disturbances have been determined by mathematic simulation.

Practical value. Theoretical analysis of flexural vibration dampers (bolt-on slip half-couplings) efficiency has been carried out. It was concluded that they significantly reduce drilling string transverse vibrations up to 26 mm (by a factor of six), not excluding the possibility of drilling tool flutter presence. For this purpose, a more effective system of vibration dampening with bolt-on slip half-couplings has been justified.

The system of transverse vibrations dampening with bolt-on slip half-couplings has been developed. The efficiency of the system has been tested and simulated with SolidWorks.

The working model of a rotary drilling rig has been designed to enable a manufacturer of rotary drilling rigs, i.e. a drilling equipment works "DSD, Ltd", to adopt sustainable parameters of dampening systems of drilling string transverse vibrations. The draft design and operating documentation of a working model, which is being produced at "DSD, Ltd", Kryvyi Rih, have been developed. Developed engineering drawings of a working model have been introduced into a project at "DSD, Ltd".

Results. The system of drilling string transverse vibrations dampening with flexural vibration dampers (bolt-on slip half-couplings) has been developed to decrease drilling string vibrations by a factor of 7,4 and exclude drilling tool flutter.

Keywords: rotary drilling rigs, sustainable parameters of drilling string rotation, system of vibration dampening.

УДК 621.165:622

Кіянєвський М.В., Бондар О.В. Конструктивне забезпечення сталості врівноваженого положення валів роторних машин в опорах ковзання

Мета. Встановлено, що у процесі експлуатації роторних машин спостерігаються вібрації, викликані втратою стійкості стаціонарного руху роторів.

Методи дослідження. Проведено розрахунок оцінки стійкості валів роторних машин, через визначення функціонального зв'язку між безрозмірним коефіцієнтом навантаженості опори підшипника і параметрами стійкості та впливу частоти обертання і гнучкості ротора, частоти власних коливань гнучкого ротора. Встановлено, що особливо небезпечною робота машин є з незначним рівнем несучої здатності підшипника, так як зі збільшенням горизонтальної складової ексцентриситету, відбуваються збудження горизонтальних вібрацій, і ризик втрати стійкості стає більшим. Отже, потрібно виконати більш поглиблене дослідження основних закономірностей, що впливають на поведінку ротора та визначають закони його прецесії.

Наукова новизна. Зроблено аналіз параметрів експериментальних досліджень положення осі ротору та розглянуто графік впливу нахилу лінії центрів, коефіцієнту навантаженості опори підшипника та величини ексцентриситету осі ротора. Встановлено, що при збільшенні несучої здатності підшипника, зберігається умова забезпечення стійкості ротора, так як відбувається зменшення параметру нахилу лінії центрів, а також збільшення величини ексцентриситету, що приводить до значного зростання відцентрових сил, вібраційних навантажень і наслідком стає втрата стійкості ротора.

Практична значимість. Розглядалась задача забезпечення сталості динамічного врівноваження ротора за рахунок мінімізації відхилення осі інерції ротора (ексцентриситету) від геометричної осі підшипника в діапазонах наванта-

ження та швидкості обертання ротора. Аналіз параметрів визначення раціональної області сталості положення ротора, приводить до висновку про неможливість зменшення рівня питомого тиску на підшипник без зміни (зменшення) експлуатаційних навантажень роторної машини. З цього витікає, що умова сталості стійкості ротора від зростання загрози автоколивальності досягається при роботі машини в дорезонансній зоні.

Результати. Отже, забезпечення сталості динамічного рівноваження ротора за рахунок мінімізації відхилення осі інерції ротора (ексцентриситету) від геометричної осі підшипника в діапазонах навантаження та швидкості обертання ротора стає можливим при коригуванні (зменшенні кривизни опорної поверхні), величини відносного зазору у межах задовільної несучої здатності підшипника і мінімізації ексцентриситету осі інерції і геометричної осі ротора.

Ключові слова: ротор, гідродинаміка, змащення, коливання, рівновага, працездатності підшипника ковзання.

Кияновский Н.В., Бондарь Е.В. Конструктивное обеспечение устойчивости уравновешенного положения валов роторных машин в опорах скольжения

Цель. Установлено, что в процессе эксплуатации машин наблюдаются вибрации, вызванные потерей устойчивости стационарного движения роторов.

Методы исследования. Проведен расчет оценки устойчивости валов роторных машин, через определение функциональной связи между безразмерным коэффициентом нагруженности опоры подшипника и параметрам устойчивости и влияния частоты вращения и гибкости ротора, частоты собственных колебаний гибкого ротора. Установлено, что особенно опасной является работа машин с незначительным уровнем несущей способности подшипника, так как с увеличением горизонтальной составляющей эксцентриситета, происходят возбуждения горизонтальных вибраций, и риск потери устойчивости становится больше. Следовательно, нужно выполнить более углубленное исследование основных закономерностей, влияющих на поведение ротора и определяющих законы его прецессии.

Научная новизна. Сделан анализ параметров экспериментальных исследований положения оси ротора и рассмотрен график влияния наклона линии центров, коэффициента нагруженности опоры подшипника и величины эксцентриситета оси ротора. Установлено, что при увеличении несущей способности подшипника, сохраняется условие обеспечения устойчивости ротора, так как происходит уменьшение параметра наклона линии центров, а также увеличение величины эксцентриситета, что приводит к значительному росту центробежных сил, вибрационных нагрузок и следствием становится потеря устойчивости ротора.

Практическая значимость. Рассматривалась задача обеспечения устойчивости динамического уравновешивания ротора за счет минимизации отклонения оси инерции ротора (эксцентриситета) от геометрической оси подшипника в диапазонах нагрузки и скорости вращения ротора. Анализ параметров определения рациональной области устойчивости положения ротора, приводит к выводу о невозможности уменьшения уровня удельного давления на подшипник без изменения (уменьшения) эксплуатационных нагрузок роторной машины. Из этого следует, что условие постоянства устойчивости ротора от роста угрозы автоколебаний достигается при работе машины в дорезонансной зоне.

Результаты. Следовательно, обеспечение устойчивости динамического уравновешивания ротора за счет минимизации отклонения оси инерции ротора (эксцентриситета) от геометрической оси подшипника в диапазонах нагрузки и скорости вращения ротора становится возможным при корректировке (уменьшении кривизны опорной поверхности), величины относительного зазора в пределах удовлетворительной несущей способности подшипника и минимизации эксцентриситета оси инерции и геометрической оси ротора.

Ключевые слова: ротор, гидродинамика, смазки, колебания, равновесие, работоспособность подшипника скольжения **Kiyanovsky M.V., Bondar O.V.** Constructive support for the stability of the shaft balanced position of rotary machines in the slide bearings

Purpose. To observe the vibrations in the operation of machines caused by the loss of stability of the stationary movement of the rotors.

Research methods. The estimation of the stability of the rotor shaft shafts was carried out through the definition of the functional connection between the dimensionless load factor of the bearing support and the parameters of stability and influence of the rotational speed and flexibility of the rotor, the natural vibration frequency of the flexible rotor. It has been established that the operation of machines with an insignificant level of bearing capacity is especially dangerous, as with an increase in the horizontal component of the eccentricity, horizontal vibrations are excited and the risk of instability becomes greater. Consequently, it is necessary to carry out a more in-depth study of the basic laws that influence the behavior of the rotor and determine the laws of its precession.

Scientific novelty. The parameters of experimental studies of the position of the rotor axis are analyzed and a graph of the effect of the slope of the center line, the bearing loading factor, and the rotor axis eccentricity is considered. It has been established that with increasing bearing capacity of the bearing, the condition for ensuring rotor stability is maintained, as the centerline line slope parameter decreases, and the eccentricity increases, which leads to a significant increase in centrifugal forces, vibration loads and a loss of rotor stability results.

Practical significance. The task of ensuring the stability of the dynamic balancing of the rotor by minimizing the deviation of the axis of inertia of the rotor (eccentricity) from the geometric axis of the bearing in the load ranges and the speed of rotation of the rotor was considered. Analysis of the parameters for determining the rational region of stability of the rotor position leads to the conclusion that it is impossible to reduce the level of specific pressure on the bearing without changing (reducing) the operating loads of the rotary machine. It follows from this that the condition of the constancy of the rotor stability against the growth of the threat of self-oscillations is achieved when the machine is operating in the preresonance zone.

Results. Therefore, ensuring the stability of the dynamic balancing of the rotor by minimizing the deviation of the axis of inertia of the rotor (eccentricity) from the geometrical axis of the bearing in the load ranges and rotor speed becomes possible when adjusting (reducing the curvature of the bearing surface) relative clearance within the satisfactory bearing capacity of the bearing and minimizing eccentricity of the axis of inertia and the geometric axis of the rotor.

Keywords: rotor, hydrodynamics, lubricants, oscillations, balance, serviceability of a sliding bearing.

УДК 332.3.005

Завершинська Ю.І. Аналіз сучасного стану землевпорядкування в Україні

Мета. У зв'язку з переходом аграрного сектора країни до ринкової економіки, особливого значення набуває перехід до нової системи земельних відносин, здатних забезпечити економічне зростання сільськогосподарського виробництва при раціональному використанні насамперед – землі. Мета статті полягає у застосуванні ринкових методичних підходів з метою розрахунку вартості земельної ділянки комерційного призначення.

Методи дослідження. Дослідження ґрунтується на загальних принципах економічного і математичного моделювання, математичної статистики, економетрики, фундаментальних і прикладних наукових розробках, які мають концептуальне значення для вирішення поставлених задач і забезпечують цілісно-системний розгляд проблем нормативної грошової оцінки земель населених пунктів.

Наукова новизна. Сучасні трансформаційні зміни, що склалася в Україні у галузі земельних відносин та галузі використання і охорони земель є критичними і вимагають змін без кінцевого розрушення існуючої системи землеустрою, шляхом реформування і створення нового розуміння сутності і форм сучасного землеустрою. Науковою новизною є аналіз нормативно-правової бази оціночної діяльності в Україні та аналіз публікацій з оцінки землі та нерухомого майна, які є актуальними на сьогоднішній день.

Практична значимість. Земля є одним із головних ресурсів життєдіяльності суспільства. Від стану залягодження земельних проблем залежить розвиток сільського господарства і організація форм господарювання сільськогосподарських підприємств. Потреба суб'єктів земельних відносин в інформації, що характеризує стан земельних ресурсів, зумовила створення державного земельного кадастру (ДЗК). Відомості про земельні ресурси, їх місце розташування та правовий режим використання встановлюються єдиною державною геоінформаційною системою відомостей про землі, розташовані в межах державного кордону України, їх цільове призначення, а також про кількісну і якісну характеристику земель, їх оцінку, розподіл між власниками і користувачами, що ведеться уповноваженим органом виконавчої влади з питань земельних ресурсів, що становить головну практичну значимість дослідження.

Результати. Сучасні способи використання земельних ресурсів в Україні не відповідають вимогам збалансованого природокористування. Цінність земель населених пунктів полягає у їх здатності приносити додатковий прибуток.

Ключові слова: оцінка, нерухомість, податок, орендна плата, закордонний досвід, ринок землі, земельні платежі, землевпорядкування.

Завершинська Ю.И. Анализ современного состояния землеустройства в Украине

Цель. В связи с переходом аграрного сектора страны к рыночной экономике, особое значение приобретает переход к новой системе земельных отношений, способных обеспечить экономический рост сельскохозяйственного производства при рациональном использовании прежде всего - земли. Цель статьи заключается в применении рыночных методических подходов с целью расчета стоимости земельного участка коммерческого назначения.

Методы исследования. Исследование основывается на общих принципах экономического и математического моделирования, математической статистики, эконометрики, фундаментальных и прикладных научных разработках, которые имеют концептуальное значение для решения поставленных задач и обеспечивают целостно-системное рассмотрение проблем нормативной денежной оценки земель населенных пунктов.

Научная новизна. Современные трансформационные изменения ситуации в Украине в области земельных отношений и области использования и охраны земель являются критическими и требуют изменений без конечного разрушения существующей системы землеустройства, путем реформирования и создания нового понимания сущности и форм современного землеустройства. Научной новизной является анализ нормативно-правовой базы оценочной деятельности в Украине и анализ публикаций по оценке земли и недвижимого имущества, которые являются актуальными на сегодняшний день.

Практическая значимость. Земля является одним из главных ресурсов жизнедеятельности общества. От состояния улаживания земельных проблем зависит развитие сельского хозяйства и организация форм хозяйствования сельскохозяйственных предприятий. Потребность субъектов земельных отношений в информации, характеризующей состояние земельных ресурсов, обусловила создание государственного земельного кадастра (ГЗК). Сведения о ресурсах, их местоположение и правовой режим использования устанавливаются единственным государственным геоинформационной системой сведений о землях, расположенных в пределах государственной границы Украины, их целевом назначении, а также о количественной и качественной характеристике земель, их оценке, распределение между собственниками и пользователями, что ведется уполномоченным органом исполнительной власти по вопросам земельных ресурсов, составляет главную практическую значимость исследования.

Результаты. Современные способы использования земельных ресурсов в Украине не соответствуют требованиям сбалансированного природопользования. Ценность земель населенных пунктов заключается в их способности приносить дополнительную прибыль.

Ключевые слова: оценка, недвижимость, налог, арендная плата, зарубежный опыт, рынок земли, земельные платежи, землеустройства.

Zavershynska Yu. I. Current Land Management in Ukraine

Purpose. To apply market methodological approaches in order to calculate the value of land for commercial purposes.

Research methods. The research is based on the general principles of economic and mathematical modeling, mathematical statistics, econometrics, fundamental and applied scientific developments, which have a conceptual value for solving the set tasks and provide a holistic system review of the problems of normative monetary valuation of settlements.

Scientific novelty. The current transformational changes in Ukraine in the field of land relations and the use and protection of land are critical and require changes without ending the existing system of land management, by reforming and creating a new understanding of the essence and forms of modern land management. The scientific novelty is the analysis of the regulatory base of valuation activities in Ukraine and the analysis of publications on the assessment of land and real estate, which are relevant to date.

Practical value. Earth is one of the main resources of society's life. The state of the settlement of land problems depends on the development of agriculture and the organization of forms of management of agricultural enterprises. The need of subjects of land relations in information characterizing the state of land resources, led to the creation of a state land cadastre (SLC). Information on land resources, their location and legal regime of use are established by the only state geoinformation system of land information located within the state border of Ukraine, their intended purpose, as well as the quantitative and qualitative characteristics of land, their assessment, distribution between owners and users, which is conducted by the authorized body of executive power on land resources, which is the main practical significance of the research.

Results. Modern ways of using land resources in Ukraine do not meet the requirements of balanced use of nature. The value of the land of settlements lies in their ability to bring additional profit.

Keywords: estimation, real estate, tax, rent, foreign experience, land market, land payments, land management.

УДК 629.113

Максимов С.В., Максимова О.С. Оптимізація структури ремонтних циклів кар'єрних самоскидів на основі дослідження надійності їх роботи

Мета. Метою даної роботи є розробка теоретичних і методичних положень організаційно-економічного механізму. Впровадження нормативів системи відновлення працездатності кар'єрних самоскидів гірничо-видобувних підприємств.

Методи дослідження. Для вирішення завдань визначення тривалості міжремонтних циклів використати метод оптимізації на основі функцій зміни експлуатаційних витрат, а для визначення тривалості міжремонтних періодів - метод оптимізації на основі довговічності елементів. Завдання визначення оптимальної тривалості міжремонтних циклів зводиться до знаходження таких значень кількості й тривалості міжремонтних періодів, які в межах нормативного терміну служби машини забезпечують мінімальну величину приведених витрат на виробництво одиниці продукції. Для вирішення поставлених задач використано методи техніко-економічного, методологію управління проектами, метод групового урахування аргументів, методи дослідження операцій, метод порівняльного економічного аналізу та методи перебору.

Наукова новизна. Обґрунтовано та сформульовано критерії оптимальної структури ремонтного циклу кар'єрних самоскидів, який дозволить підвищити ефективність відновлення працездатності кар'єрних самоскидів. При встановленні оптимальних строків заміни елементів устаткування, формуванні ремонтних груп вирішенні задачі оптимізації структури міжремонтних циклів.

Практична значимість. Оптимізація міжремонтних періодів містить у собі визначення оптимальних періодів заміни для кожного елемента машини окремо, формування ремонтних груп елементів із близькими значеннями періодів заміни і знаходження оптимальних міжремонтних періодів для кожної ремонтної групи. Статистичний аналіз загальних закономірностей роботи агрегатів показує, що пробіги нових і після ремонту агрегатів між замінами істотно розрізняються. Нові агрегати між замінами працюють значно довше, ніж після ремонту.

Результати. Результати розрахунків показали, що оптимальною структурою міжремонтних циклів кар'єрного самоскида є структура, що передбачає періодичне проведення поточних ремонтів трьох ступенів складності. У роботі пропонується корегувати періодичність профілактичних заміни у другому міжремонтному циклі, що характеризує ступінь скорочення наробітку на відмову машини в циклі до капітального ремонту й після нього.

Ключові слова: ремонтні роботи, витрати на ремонт, ремонтні цикли, ремонтні групи, довговічність, оптимізація, самоскиди.

Максимов С.В., Максимова О.С. Оптимизация структуры ремонтного цикла карьерных самосвалов на основе исследования надежности их работы

Цель. Целью данной работы является разработка теоретических и методических положений организационно-экономического механизма. Внедрение нормативов системы восстановления работоспособности карьерных самосвалов горнодобывающих предприятий.

Методы исследования. Для решения задач определения продолжительности межремонтных циклов использовать метод оптимизации на основе функций изменения эксплуатационных расходов, а для определения продолжительности межремонтных периодов - метод оптимизации на основе долговечности элементов. Задача определения оптимальной продолжительности межремонтных циклов сводится к нахождению таких значений количества и продолжительности межремонтных периодов, в пределах нормативного срока службы машины обеспечивают минимальную величину приведенных затрат на производство единицы продукции. Для решения поставленных задач использованы методы технико-экономического, методологию управления проектами, метод группового учета аргументов, методы исследования операций, метод сравнительного экономического анализа и методы перебора.

Научная новизна. Обосновано и сформулировано критерии оптимальной структуры ремонтного цикла карьерных самосвалов, который позволит повысить эффективность восстановления работоспособности карьерных самосвалов. При установлении оптимальных сроков замены элементов оборудования, формировании ремонтных групп решению задачи оптимизации структуры межремонтных циклов.

Результаты. Результаты расчетов показали, что оптимальной структурой межремонтных циклов карьерного самосвала является структура, предусматривающая периодическое проведение текущих ремонтов трех степеней сложности. В работе предлагается корректировать периодичность профилактических замен во втором межремонтном цикле, характеризующий степень сокращения наработки на отказ машины в цикле до капитального ремонта и после него.

Ключевые слова: ремонтные работы, затраты на ремонт, ремонтные циклы, ремонтные группы, долговечность, оптимизация, самосвалы.

Maksymov S.V., Maksymova O.S. Repair cycles of dump trucks in terms of operation reliability

Purpose. Development of the theoretical and methodological provisions of the organizational and economic mechanism. Implementation of the norms of the system of restoration of efficiency of mining dump trucks of mining enterprises.

Research methods. To solve tasks of determining the duration of inter-repair cycles, an optimization method was used based on the functions of changing operating costs. To determine the duration of inter-repair periods, an optimization method based on the durability of the elements is used. The task of determining the optimal duration of inter-repair cycles is to find the number and duration of inter-repair periods, which provide the minimum value of reduced costs per unit production. To solve the set tasks, methods of technical and economic, methodology of project management, method of group account of the argument, methods of operations research, method of comparative economic analysis and methods of selection are used.

Scientific novelty. The criteria of the optimal structure of the repair cycle of the dump trucks are substantiated and formulated, which will allow to improve the efficiency of restoration of efficiency of career dump trucks. When establishing the optimal terms of replacement of the equipment, the formation of repair teams to solve the problem of optimizing the structure of inter-repair cycles.

Results. The results of calculations showed that the optimal structure of inter-repair cycles of a quarry dumper is the structure, which provides periodic maintenance of the current repairs of the three degrees of complexity. The paper proposes to adjust the periodicity of prophylactic substitutions in the second inter-repair cycle, which characterizes the degree of reduction of work on the failure of the machine in the cycle before major repairs and after it.

Keywords: repair works, repair costs, repair cycles, repair groups, durability, optimization, dump trucks.

УДК 528.44

Паламар А.Ю., Полтавченко А.В. Особливості кадастрової оцінки лісових ресурсів

Мета. Вивчення сучасного стану земель лісгосподарського призначення України. Впродовж останніх років питання набуття земельних ділянок у користування стають дедалі актуальнішими. При цьому юристи-практики і науковці здебільшого звертають увагу на проблеми придбання земельних ділянок під забудову, які мають значну цінність як об'єкти інвестування, та проблеми набуття земельних ділянок сільськогосподарського призначення, доцільність дії мораторію на придбання яких є предметом постійних дискусій, приділяючи значно менше уваги питанням набуття і використання земель інших категорій, наприклад, земель лісгосподарського призначення, правовий режим використання яких має свої особливості.

Методи дослідження. При проведенні досліджень використовувались методи системно-структурного та порівняльного аналізу, логіки, теорії ефективного управління і комп'ютерного програмного забезпечення.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у дослідженні динаміки змін земельного фонду та структури земель лісгосподарського призначення України та Дніпропетровської області.

Практична значимість. Оскільки ліс є унікальним природним явищем, що за своїми біологічними ознаками являє собою сукупність дерев, чагарників, іншої лісової рослинності, ґрунтового покриву, що взаємопов'язані і впливають одне на одного та на навколишнє природне середовище, лісове законодавство є однією з тих складових, за якими повинні визначатися пріоритети підвищення ефективності лісових ресурсів України. Водночас цінність лісу як природного та економічного ресурсу не завжди врівноважується з результатами лісознавства та лісоексплуатації, а тому у сучасних умовах актуальним є створення ефективної системи управління земельними ресурсами лісгосподарського призначення, програми комплексного, раціонального і невиснажливого лісокористування.

Результати. Результати дослідження полягають в їх подальшому використанні центральним та територіальними органами виконавчої влади з питань земельних ресурсів з метою ведення державного земельного кадастру в частині функціонування кадастру земель лісгосподарського призначення.

Ключові слова: кадастрові роботи, лісгосподарське використання, лісовий кодекс України, цінність лісу, раціональне використання, земельне законодавство.

Паламар А.Ю., Полтавченко А.В. Особенности кадастровой оценки лесных ресурсов

Цель. Изучение современного состояния земель лесного фонда Украины. В последние годы вопрос приобретения земельных участков в пользование становятся все более актуальными. При этом юристы практики и ученые в большинстве своем обращают внимание на проблемы приобретения земельных участков под застройку, которые имеют значительную ценность как объекты инвестирования, и проблемы приобретения земельных участков сельскохозяйственного назначения, целесообразность действия моратория на приобретение которых является предметом постоянных дискуссий, уделяя гораздо меньше внимания вопросам приобретения и использования земель других категорий, например, земель лесного фонда, правовой режим использования которых имеет свои особенности.

Методы исследования. При проведении исследований использовались методы системно-структурного и сравнительного анализа, логики, теории эффективного управления и компьютерного программного обеспечения.

Научная новизна исследования заключается в исследовании динамики изменений земельного фонда и структуры земель лесного фонда Украины и Днепропетровской области.

Практическая значимость. Поскольку лес является уникальным природным явлением, по своим биологическим признакам представляет собой совокупность деревьев, кустарников, другой лесной растительности, почвенного покрова, взаимосвязаны и влияют друг на друга и на окружающую природную среду, лесное законодательство является одной из составляющих, по которым должны определяться приоритеты повышения эффективности лесных ресурсов Украины. В то же время ценность леса как природного и экономического ресурса не всегда уравновешивается результатам лесоведения и лесозексплуатации, а потому в современных условиях актуальным является создание эффективной системы управления земельными ресурсами лесного фонда, программы комплексного, рационального и устойчивого лесопользования.

Результаты. Результаты исследования заключаются в их дальнейшем использовании центральным и территориальными органами исполнительной власти по вопросам земельных ресурсов с целью ведения государственного земельного кадастра в части функционирования кадастра земель лесного фонда.

Ключевые слова: кадастровые работы, лесохозяйственное использование, лесной кодекс Украины, ценность леса, рациональное использование, земельное законодательство.

Palamar A. Yu., Poltavchenko A.V. Cadastral forest resources assessment

Purpose. To study the current state of the lands of forestry of Ukraine. In recent years, the issue of acquiring land plots has become more and more relevant. At the same time lawyers' practitioners and academics mostly focus on the problems of acquiring land for development, which have significant value as objects of investment, and the problems of acquiring agricultural land, the expediency of the moratorium on the purchase of which is the subject of constant discussions, with much less attention the issue of acquiring and using land of other categories, for example, lands of forestry, the legal regime of which has its own peculiarities.

Research methods. In conducting the research methods of system-structural and comparative analysis, logic, theory of effective management and computer software were used.

The scientific novelty of the obtained results is the dynamics of changes in the land stock and the structure of the lands of forestry of Ukraine and Dnipropetrovsk region.

Practical value. As the forest is a unique natural phenomenon that, by its biological features, is a combination of trees, shrubs, other forest vegetation, soil cover, interconnected and affecting each other and the environment, forest legislation is one of the constituent parts of the which priorities should be determined for increasing the efficiency of forest resources in Ukraine. At the same time, the value of the forest as a natural and economic resource is not always balanced with the results of forestry and forest exploitation, and therefore in today's conditions it is relevant to create an effective forest management system for forestry, programs for integrated, rational and non-exhaust forest management.

Results. The results of the study consist in their further use by the central and territorial executive authorities on land resources for the purpose of conducting a state land cadastre in the part of functioning of the cadastre of forestry purposes.

Keywords: cadastral work, forest management, forest code of Ukraine, forest value, rational use, land legislation.

УДК 629.314

Гірін І.В. Можливості інтенсифікації процесу електрифікації авторинку України

Мета. Метою роботи є комплексне дослідження сталого стану ринку електромобільного транспорту з зазначенням проблем, які потрібно вирішити для інфраструктурного напрямку розвитку вітчизняного ринку електрокарів, внаслідок чого електричні автомобілі складуть повноцінну конкуренцію традиційним машинам з ДВС в Україні.

Методи дослідження. У роботі виконано аналітичні дослідження з використанням вітчизняних статистичних показників стосовно подальших перспектив розвитку електромобільного транспорту. Використано комплексний підхід, що включає узагальнення і аналіз літературних джерел і досліджень в галузі автомобільного транспорту.

Наукова новизна. Наукову цінність представляє аналітичне оцінювання темпів зростання ринку сучасного електромобільного транспорту та виявлення основних сегментів та технічних напрямків для подальшого підвищення складового рівня цього виду рухомого складу в загальній долі автотранспорту України.

Практична значимість. Дослідження, проведені в даній роботі, дають можливість встановити основні чинники, усунення яких дозволить підвищити рівень екологічної безпеки автотранспорту за рахунок масового використання електромобілів в дорожньому русі. В роботі встановлена динаміка залежності швидкості поширення електротранспорту й розвитку цього виду автотранспорту від покращення технічних і експлуатаційних характеристик електромобілів, що дозволить суттєво вплинути на прискорення розвитку електромобільного транспорту та на покращення стану екологічної безпеки навколишнього середовища завдяки зменшенню негативних факторів впливу дорожнього руху.

Результати. Виконано порівняльний аналіз впливу рівня технічних компонентів електромобілів і традиційних автомобілів на стан автомобільного ринку. Узагальнено результати порівняльних характеристик компонентів та технічних можливостей електрокарів в порівнянні із звичайними авто. Дано порівняльну оцінку найбільш поширених на внутрішньому ринку електромобілів в залежності від рівня їх екологічної безпеки для довкілля. Відзначено, які конструктивні рішення сучасних серійних електромобілів створюють найбільшу загрозу рівню дорожньої безпеки. Розглянуті можливі напрямки досліджень, впровадження результатів яких дозволило б досягти підвищення рівня екологічної безпеки електрокарів.

Ключові слова: електромобільний транспорт, екологічність, ринок електрокарів, зарядні станції, тарифи на зарядку.

Гірін И.В. Возможности интенсификации элетрификации авторынка Украины

Цель. Целью работы является исследование сегодняшнего состояния рынка электромобильного транспорта с указанием проблем, которые нужно решить для инфраструктурного направления развития отечественного рынка электрокаров, в результате чего электрические автомобили составят полноценную конкуренцию традиционным машинам с ДВС в Украине.

Методы исследования. В работе выполнены аналитические исследования с использованием отечественных статистических показателей относительно дальнейших перспектив развития электромобильного транспорта. Использован комплексный подход, включающий обобщение и анализ литературных источников и исследований в области автомобильного транспорта.

Научная новизна. Научную ценность представляет аналитическая оценка темпов роста рынка современного электромобильного транспорта и выявление основных сегментов и технических направлений для дальнейшего повышения составляющей уровня этого вида подвижного состава в общей части автотранспорта Украины.

Практическая значимость. Исследования, проведенные в данной работе, дают возможность установить основные факторы, устранение которых позволит повысить уровень экологической безопасности автотранспорта за счет массового использования электромобилей в дорожном движении. В работе установлена динамика зависимости скорости распространения электротранспорта и развития этого вида автотранспорта от улучшения технических и эксплуатационных характеристик электромобилей, что позволит существенно повлиять на ускорение развития электромобильного транспорта и на улучшение состояния экологической безопасности окружающей среды благодаря уменьшению негативных факторов влияния дорожного движения.

Результаты. Выполнен сравнительный анализ влияния уровня технических компонентов электромобилей и традиционных автомобилей на состояние автомобильного рынка. Обобщены результаты сравнительных характеристик

компоновочных компонентов и технических возможностей электрокаров по сравнению с обычными авто. Дана сравнительная оценка наиболее распространенных на внутреннем рынке электромобилей в зависимости от уровня их экологической безопасности для окружающей среды. Отмечено, какие конструктивные решения современных серийных электромобилей создают наибольшую угрозу уровню дорожной безопасности. Рассмотрены возможные направления исследований, внедрение результатов которых позволило бы достичь повышения уровня экологической безопасности электрокаров.

Ключевые слова: электромобильный транспорт, экологичность, рынок электрокаров, зарядные станции, тарифы на зарядку

Hirin I.V. Possibilities for intensive automobile market electrification in Ukraine

Purpose. Comprehensive research of current situation in the market of electric vehicles and problems to be addressed for the infrastructure development of the domestic electric car market, leading to the competition between electric cars and traditional internal combustion engine (ICE) cars in Ukraine.

Research methods. Analytical studies using domestic statistical indicators on the prospects for the development of electric vehicles have been undertaken. A comprehensive approach involving analysis and synthesis of relevant literature and research in road transport have been presented.

Scientific novelty. Of great academic value is analytical estimates of market dynamics for upgraded electric vehicles and the identification of the main segments and technical trends in further enhancement of rolling stock in the transport of Ukraine

Practical significance. The undertaken research enables to identify the main factors ensuring environmental safety of transport by using electric vehicles in road traffic. The dependence of the distribution rate of electric transport and its development on the improvement of the technical and operational characteristics of electric vehicles has been established, which allows to drive the future of electromobility, improve the environmental safety, and reduce the negative factors affecting the traffic.

Results. A comparative analysis of the effect of technical components of electric vehicles and traditional cars on the automobile market conditions is provided. The results of comparative review of components and technical capabilities of electric and traditional cars are summarized. A comparative evaluation of the most common electric vehicles in a view of the environment protection is given. Constructive solutions for modern serial electric vehicles of the greatest threat to the road safety are noted. The possible directions of research are considered, the results of which would allow increasing environmental safety of electric cars.

Keywords: electric vehicle, eco-friendliness, electromobile market, charging stations, charging rates.

УДК 622.271.33«37»: 622.013

Жуков С.А., Луценко С.А. Исследование влияния производительности карьера на экономические показатели разработки

Цель. Усовершенствовать научно-методическую базу в области проектирования и планирования открытых горных работ путем разработки новых и корректировки существующих методов определения производительности карьера по руде, которые должны учитывать взаимосвязь режима горных работ и производительности карьера по руде, исходя из условия обеспечения нормативного объема готовых к выемке запасов.

Методы исследования. При определении производительности карьера по руде необходимо учитывать влияние взаимосвязи режима горных работ и производительности, исходя из условия обеспечения нормативного объема готовых к выемке запасов, на себестоимость добычи руды и производства концентрата

Научная новизна. Установлено, что увеличение угла откоса рабочего борта карьера значительно снижает экономическую эффективность разработки месторождения в связи с тем, что работа карьера с большим углом откоса влечет за собой не только уменьшение текущих коэффициентов вскрыши в результате улучшения режима горных работ, но и уменьшение производительности по руде, что уменьшает приведенную ценность товарной продукции вследствие увеличения периода разработки месторождения.

Практическая значимость. Результаты выполненных исследований могут быть использованы проектными организациями и горнодобывающими предприятиями при определении производительности карьера по руде.

Результаты. С увеличением производительности по руде себестоимость добычи руды, а также себестоимость производства концентрата уменьшаются. При этом максимально возможная производительность карьера по полезными ископаемыми, обеспечивает максимальную экономическую эффективность разработки месторождения при выбранном направлении углубки карьера. Уменьшение производительности по полезным ископаемым на 20 и 40% влечет за собой уменьшение прибыли от разработки месторождения соответственно на 10 и 20%.

Ключевые слова: открытые горные работы, производительность карьеров по руде, режим горных работ, себестоимость добычи руды, себестоимость концентрата.

Жуков С.О., Луценко С.О. Дослідження впливу продуктивності кар'єру на економічні показники розробки

Мета. Удосконалити науково-методичну базу в області проектування і планування відкритих гірничих робіт шляхом розробки нових і коригування існуючих методів визначення продуктивності кар'єру за рудою, які повинні враховувати взаємозв'язок режиму гірничих робіт і продуктивності кар'єру за рудою, виходячи з умови забезпечення нормативного обсягу готових до виймання запасів.

Методи дослідження. При визначенні продуктивності кар'єру за рудою необхідно враховувати вплив взаємозв'язку режиму гірничих робіт і продуктивності, виходячи з умови забезпечення нормативного обсягу готових до виймання запасів, на собівартість видобутку руди і виробництва концентрату.

Наукова новизна. Встановлено, що збільшення кута укосу робочого борту кар'єру значно знижує економічну ефективність розробки родовища у зв'язку з тим, що робота кар'єру з великим кутом укосу тягне за собою не тільки зменшення поточних коефіцієнтів розкриття в результаті зміння режиму гірничих робіт, а й зменшення продуктивності по руді, що зменшує приведену цінність товарної продукції внаслідок збільшення періоду розробки родовища.

Практична значимість. Результати виконаних досліджень можуть бути використані проектними організаціями і гірничодобувними підприємствами при визначенні продуктивності кар'єру за рудою.

Результати. Зі збільшенням продуктивності за рудою собівартість видобутку руди, а також собівартість виробництва концентрату зменшуються. При цьому максимально можлива продуктивність кар'єру за корисними копалинами, забезпечує максимальну економічну ефективність розробки родовища при вибраному напрямку поглиблення кар'єру. Зменшення продуктивності за корисними копалинами на 20 і 40% тягне за собою зменшення прибутку від розробки родовища відповідно на 10 і 20%.

Ключові слова: відкриті гірничі роботи, продуктивність кар'єрів за рудою, режим гірничих робіт, собівартість видобутку руди, собівартість концентрату.

Zhukov S.A., Lutsenko S.A. Influence of the open pit productivity on economic indicators of mining

Purpose. To perfect research and methodical base in designing and planning of open pit mining through the development of new methods and updating the existent ones of determination the open pit ore productivity. To consider the mode of mining works and ore productivity of open pit by providing normative volume of the ready for extraction reserves.

Research methods. Fixing the ore productivity of the open pit it is necessary to take into account influence of interrelation of the mode of mining works and productivity, coming from the condition of providing the normative volume of the ready for extraction reserves, on the producing costs of ore extraction and production of concentrate

Scientific novelty. It is set that the increase of corner of slope of the working flank of an open pit considerably reduces economic efficiency of mining the deposit in connection with that work of the open pit with the large corner of slope entails not only reduction of current coefficients of stripping as a result of change of the mode of mining works, but also reduction the ore productivity, that diminishes the present value of saleable output because of increase the period of mining the deposit.

Practical value. The results of the executed researches can be used by design organizations and mining enterprises at determination of the ore productivity of the open pit.

Results. With the increase of the ore productivity the producing costs of ore mining and also the producing costs of concentrate production, diminish. Thus the maximally possible open pit minerals productivity provides maximal economic efficiency of mining the deposit at the chosen direction of deepening the open pit. Reduction of the productivity on minerals on 20 and 40% entails reduction of profit from mining the deposit accordingly on 10 and 20%.

Keywords: open pit mining, ore productivity of open pits, mode of mining works, the producing costs of ore extraction, the producing costs of concentrate.

УДК 514.742:531.1

Гулівець О.А., Олійник С.Ю. Векторний метод диференціювання векторних функцій скалярного аргумента

Мета. Розробка векторного методу диференціювання векторних функцій скалярного аргумента.

Методи дослідження. На основі аналізу годографів векторних функцій і представлення приросту вектора функції, який одночасно змінюється за напрямом та величиною, як суми приросту внаслідок зміни напрямку вектора та приросту внаслідок зміни його модуля одержані математичні залежності для векторного диференціювання векторних функцій скалярного аргумента.

Наукова новизна. Розроблено векторний метод диференціювання векторних функцій скалярного аргумента, вектор яких одночасно змінюється за напрямом і модулем та встановлена залежність абсолютної похідної векторної функції скалярного аргумента, яка характеризує певне механічне явище, що відбувається в певній системі відліку, яка здійснює рух відносно інших систем відліку, одна з яких приймається за нерухому, від кутових швидкостей обертання рухомих систем відліку.

Практична значимість. Використання розробленого векторного методу диференціювання векторних функцій скалярного аргумента в навчальному процесі дозволяє більш переконливо та з меншими затратами часу виконувати доведення ряду теоретичних положень з дисципліни «Теоретична механіка».

Результати. Встановлено, що вектор похідної функції скалярного аргумента складається з двох складових: вектора похідної, яка характеризує швидкість змінювання напрямку вектора функції і вектора похідної, яка характеризує змінювання модуля вектора.

В роботі розглянуто випадок диференціювання векторним методом функції скалярного аргумента, яка характеризує механічне явище, що відбувається в деякій системі відліку, яка здійснює рух відносно інших систем відліку, одна з яких прийнята за нерухому.

Встановлено, що абсолютна похідна векторної функції скалярного аргумента в цьому випадку залежить від кутових швидкостей обертання рухомих систем відліку, та встановлена залежність, яка характеризує цей зв'язок.

В роботі на основі аналізу властивостей векторних функцій скалярного аргумента і математичних операцій над векторними функціями розроблено векторний метод їх диференціювання, який має ряд переваг в порівнянні з координатним.

Ключові слова: вектор, функція, скаляр, аргумент, годограф, диференціювання, похідна.

Гуливец А.А., Олейник С.Ю. Векторный метод дифференцирования векторных функций скалярного аргумента

Цель. Разработка векторного метода дифференцирования векторных функций скалярного аргумента.

Методы исследования. На основе анализа годографов векторных функций и представления приращения вектора функции, который одновременно меняется по направлению и величине, как суммы приращения вследствие изменения направления вектора и приращения вследствие изменения его модуля получены математические зависимости для векторного дифференцирования векторных функций скалярного аргумента.

Научная новизна. Разработан векторный метод дифференцирования векторных функций скалярного аргумента, вектор которых одновременно меняется по направлению и модулю, установлена зависимость абсолютной производной векторной функции скалярного аргумента, которая характеризует определенное механическое явление, происходящее в некоторой системе отсчета, которая осуществляет движение относительно других систем отсчета, одна из которых принимается за неподвижную, от угловых скоростей вращения подвижных систем отсчета.

Практическая значимость. Использование разработанного векторного метода дифференцирования векторных функций скалярного аргумента в учебном процессе позволяет более убедительно и с меньшими затратами времени выполнять доказательства ряда теоретических положений по дисциплине «Теоретическая механика».

Результаты. Установлено, что вектор производной функции скалярного аргумента состоит из двух составляющих: вектора производной, которая характеризует скорость изменения направления вектора функции и вектора производной, которая характеризует изменение модуля вектора.

В работе рассмотрен случай дифференцирования векторным методом функции скалярного аргумента, которая характеризует механическое явление, происходящее в некоторой системе отсчета, которая осуществляет движение относительно других систем отсчета, одна из которых принята за неподвижную.

Установлено, что абсолютная производная векторной функции скалярного аргумента в этом случае зависит от угловых скоростей вращения подвижных систем отсчета, и установлена зависимость, характеризующая эту связь.

В работе на основе анализа свойств векторных функций скалярного аргумента и математических операций над векторными функциями разработаны векторный метод их дифференцирования, который имеет ряд преимуществ по сравнению с координатным.

Ключевые слова: вектор, функция, скаляр, аргумент, годограф, дифференцирование, производная.

Gulivets O.A., Oliinyk S.Yu. Vector method for differentiating vector functions of a scalar argument

Purpose. To develop a vector method for differentiating vector functions of a scalar argument.

Research methods. Based on the analysis of the hodographs of vector functions and the representation of the increment of the vector function, which simultaneously changes in direction and magnitude, as the sum of the increment due to the change in direction and increment due to the change in its modulus, mathematical dependencies are obtained vector differentiation of vector functions of the scalar argument.

Scientific novelty. A vector method for differentiating the vector functions of a scalar argument is developed, the vector of which simultaneously changes in direction and modulus. The dependence of the absolute derivative of the vector function of the scalar argument, which characterizes a certain mechanical phenomenon occurring in a specific reference system, which moves relative to other reference systems, one of which is assumed to be fixed, on the angular velocities of rotation of moving reference systems is established.

Practical value. The use of the developed vector method for differentiating the vector functions of the scalar argument in the educational process makes it possible to carry out the proofs of a number of theoretical positions on the subject “Theoretical Mechanics” more convincingly and with less time consumption.

Results. It was found that the vector of the derivative of the function of a scalar argument consists of two components: the vector of the derivative, which characterizes the rate of change in the direction of the vector of the function and the vector of the derivative, which characterizes the change in the modulus of the vector.

The paper considers the case of differentiation by the vector method of the scalar argument function, which characterizes a mechanical phenomenon that occurs in a certain frame of reference, which moves relative to other frames of reference, one of which is taken as fixed.

It has been established that the absolute derivative of the vector function of the scalar argument in this case depends on the angular velocity of rotation of the moving reference systems and the dependence that characterizes this relationship.

Thus, based on an analysis of the properties of the vector functions of the scalar argument and mathematical operations on vector functions, a vector method for differentiating them is developed, which has several advantages over the coordinate function.

Keywords: vector, function, scalar, argument, hodograph, differentiation, derivative.

УДК 621.9.04:533.9: 621.791.947.55

Нечаев В.П., Рязанцев А.О., Солодун О.О. Вплив силового і теплового навантаження зуба фрези на стійкість леза при плазмово-механічному фрезеруванні

Мета. Метою даної роботи є вдосконалення технології обробки деталей з важкооброблюваних матеріалів, а саме – дослідження та наукове обґрунтування параметрів процесу плазмово-механічного фрезерування поверхонь деталей з легованих сталей для підвищення продуктивності обробки, забезпечення необхідної стійкості робочої частини різального інструменту.

Методи дослідження. Результати роботи отримані шляхом теоретичних і експериментальних досліджень. Теоретичні дослідження полягають у визначенні параметрів теплового поля заготовки при плазмовому нагріванні в умовах плазмово-механічного фрезерування. Експериментальні дослідження засновані на комплексному вивченні взаємозв'язку основних показників фрезерування з факторами попереднього плазмового нагрівання припуску.

Наукова новизна. У результаті проведених досліджень були отримані дані про температурні поля в матеріалі заготовки при нагріванні плазмовою дугою, що сканує одночасно в двох напрямках щодо вектору хвилинної подачі. Виявлене падіння інтенсивності навантаження передньої поверхні ріжучого клину по всьому шляхові контакту зуба фрези із заготовкою, у порівнянні з обробкою без нагрівання. Вивчені особливості зношування ріжучого леза та умови виникнення та розвитку округлення ріжучої крайки, виведені залежності, що визначають зв'язок стійкості інструмента з режимами нагрівання й різання в конкретних умовах плазмово-механічного фрезерування.

Практичне значення. Розроблений процес плазмово-механічного фрезерування та рекомендації з вибору параметрів нагрівання й різання дозволяють в 2... 4 рази побільшати продуктивність обробки заготовок зі середньо легованих сталей і титанових сплавів при збереженні стійкості ріжучої частини інструмента.

Результати. Встановлено, що попереднє плазмове нагрівання при фрезеруванні площини забезпечує протікання специфічного термічного циклу в матеріалі припуску, у результаті чого змінюються твердість і пластичність оброблюваного матеріалу. Зміна механічних властивостей припуску приводить до зниження питомих навантажень на ріжучий клин, до зниження інтенсивності його адгезійного зношування й тенденції до руйнування, до його округлення, що позитивно позначається в цілому на стійкості інструмента.

Ключові слова: плазмова дуга, фрезерування, ріжучий клин, навантаження, стійкість.

Нечаев В.П., Рязанцев А.А., Солодун О.О. Влияние силового и теплового нагружения зуба фрезы на стойкость режущего лезвия при плазменно-механическом фрезеровании

Цель. Целью данной работы является усовершенствование технологии обработки деталей из труднообрабатываемых материалов, а именно – исследование и научное обоснование параметров процесса плазменно-механического фрезерования поверхностей деталей из легированных сталей для повышения производительности обработки, обеспечение необходимой стойкости рабочей части режущего инструмента.

Методы исследования. Результаты работы получены путем теоретических и экспериментальных исследований. Теоретические исследования состоят в определении параметров теплового поля заготовки при плазменном нагреве в условиях плазменно-механического фрезерования. Экспериментальные исследования основаны на комплексном изучении взаимосвязи основных показателей фрезерования с факторами предварительного плазменного нагрева припуска.

Научная новизна. В результате проведенных исследований были получены данные о температурных полях в материале заготовки при нагреве плазменной дугой, сканирующей одновременно в двух направлениях относительно вектора минутной подачи. Выявлено падение интенсивности нагружения передней поверхности режущего клина по всему пути контакта зуба фрезы с заготовкой, в сравнении с обработкой без нагрева. Изучены особенности изнашивания режущего лезвия и условия возникновения и развития округления режущей кромки, выведены зависимости, определяющие связь стойкости инструмента с режимами нагрева и резания в конкретных условиях плазменно-механического фрезерования.

Практическое значение. Разработанный процесс плазменно-механического фрезерования и рекомендации по выбору параметров нагрева и резания позволяют в 2...4 раза увеличить производительность обработки заготовок из средне легированных сталей и титановых сплавов при сохранении стойкости режущей части инструмента.

Результаты. Установлено, что предварительный плазменный нагрев при фрезеровании плоскостей обеспечивает протекание специфического термического цикла в материале припуска, в результате чего изменяются твердость и пластичность обрабатываемого материала. Изменение механических свойств припуска приводит к снижению удельных нагрузок на режущий клин, к снижению интенсивности его адгезионного изнашивания и хрупкого разрушения, к его округлению, что положительно сказывается в целом на стойкости инструмента.

Ключевые слова: плазменная дуга, фрезерование, режущий клин, нагрузка, стойкость.

Nechaev V.P., Riazantsev A.O., Solodun O.O. Influence of power and thermal load of a tooth mill on the cutting blade durability at plasma-mechanical milling

Purpose. To improve the technology of machining details from difficult-to-machine materials, that includes research and scientific substantiation parameters of plasma-mechanical surfaces milling of alloyed steels details process for productivity increase of processing, provide the necessary durability of working cutting tools part.

Research methods. The results of the work were obtained by theoretical and experimental researches. Theoretical researches include determining the parameters of the thermal field of the work piece during plasma heating in plasma-mechanical milling conditions. Experimental researches are based on a comprehensive study of the main indicators of milling interconnection with factors of pre-plasma heating allowance.

Scientific novelty. As a result of the research, we obtained data of the temperature fields in the material of the work piece when heated by a plasma arc, which scans simultaneously in two directions relative to the vector of the minute feed. We identified a drop in the intensity of loading surface's forepart of the cutting wedge along of contact of the cutter's tooth with the work piece through entire path, in comparison with processing without heating. We studied the features of the cutting blade deterioration and the conditions for the emergence and development of the cutting edge rounding, derived dependencies that determine interconnection between tools durability with heating modes and cutting modes under specific conditions of plasma-mechanical milling.

Practical value. The developed process of plasma-mechanical milling and recommendations on the choice of heating and cutting parameters make it possible to increase the processing capacity of medium-alloyed steel and titanium alloys by 2-4 times while maintaining the durability of the cutting part of the tool.

Results. We found that plasma preheating during milling of planes ensures a specific thermal cycle execution in allowance materials, as a result the hardness and plasticity of the material which processed are changed. Changes in mechanical properties allowance lead to specific load decrease on the cutting wedge, to a decrease in the intensity of this adhesive depreciation and brittle destruction, to this rounding, which has a positive effect on the whole on tools durability.

Keywords: plasma arc, milling, cutting wedge, load, durability.

УДК 331.452

Таїрова Т. М. Оцінювання результативності системи управління охороною праці у хімічному комплексі

Мета. Оцінювання результативності функціонування системи управління охороною праці та її підсистем, формування науково обґрунтованих заходів запобігання виробничому травматизму.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети використано системний підхід та метод комплексного аналізу щорічної статистичної звітності про нещасні випадки за організаційними, технічними та санітарно-гігієнічними причинами їх настання, аналітичний метод визначення ризику аварій на підприємствах хімічного комплексу з використанням програми «IRRAS» та встановлення залежностей функціонування системи охорона праці від показників, що характеризують чинники зовнішнього і внутрішнього середовища на підприємствах хімічного комплексу. Розроблено методику визначення ризику настання нещасних випадків на виробництві з позицій дотримання як працівником, так і роботодавцем нормативних актів з охорони праці. Вивчення поведінки системи управління охороною праці в хімічному комплексі проведено з використанням системного підходу на основі математичної моделі.

Наукова новизна. Побудовано математичну модель системи охорона праці, яка на відміну від існуючих, дозволяє комплексно оцінити результативність функціонування системи охорона праці з урахуванням результативності функ-

ціювання усіх її підсистем, та визначити той чинник який найбільшим чином впливає на її результативність.

Практична значимість. Отримані результати дозволяють розробляти для хімічного комплексу науково-обґрунтовані управлінські рішення та найбільш ефективні заходи, які ґрунтуються на комплексному оцінюванні результативності функціонування СУОП та її підсистеми – системи охорона праці, а їх використання дозволять запобігати небезпечним ситуаціям, аваріям та виробничому травматизму у хімічному комплексі.

Результати. Проведено комплексний аналіз результативності функціонування кожної підсистеми системи охорона праці, визначено узагальненні або найбільш впливові показники для їх оцінювання, кількісно оцінено ризик настання небезпечних ситуацій та нещасних випадків на виробництві на основі програми «IRRAS» та розроблено методики, в основу якої покладено складне групування статистичних даних щодо порушень вимог НПАОП для основних учасників трудового процесу - працівника і роботодавця.

Ключові слова: СУОП, виробничий травматизм, система охорона праці, внутрішні та зовнішні чинники, математичне моделювання, хімічний комплекс.

Таирова Т. Н. Оценка результативности системы управления охраной труда в химическом комплексе

Цель. Оценка результативности функционирования системы управления охраной труда и ее подсистем, формирование научно обоснованных мер предупреждения производственного травматизма.

Методы исследования. Для достижения поставленной цели использовано системный подход и метод комплексного анализа ежегодной статистической отчетности о несчастных случаях на производстве с учетом причин их возникновения: организационных, технических и санитарно-гигиенических, аналитический метод определения риска аварий на предприятиях химического комплекса с использованием программы «IRRAS» и зависимости результативности функционирования системы охраны труда от показателей, характеризующих факторы внешней и внутренней среды на предприятиях химического комплекса. Разработана методика определения риска возникновения несчастных случаев на производстве с позиций соблюдения работником и работодателем нормативных актов по охране труда. Изучение поведения системы охраны труда в химическом комплексе проведено с использованием системного подхода на основе математической модели.

Научная новизна. Построена математическая модель системы охраны труда, которая в отличие от существующих, позволяет комплексно оценить результативность функционирования системы с учетом результативности функционирования всех ее подсистем, определить тот фактор который наибольшим образом влияет на ее результативность.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют разрабатывать для химического комплекса научно-обоснованные управленческие решения и наиболее эффективные мероприятия, основанные на комплексной оценке результативности функционирования СУОТ и ее подсистемы - системы охраны труда, а их использование позволит предотвращать наступление опасных ситуаций, аварий и производственного травматизма в химическом комплексе

Результаты. Проведен комплексный анализ результативности функционирования каждой подсистемы системы охраны труда, определены обобщенные или наиболее влиятельные показатели для их оценки, количественно оценен риск наступления опасных ситуаций и несчастных случаев на производстве на основе программы «IRRAS» и разработанной методики, в основу которой положен сложный группировки статистических данных о нарушениях требований НПАОП для основных участников трудового процесса - работника и работодателя.

Ключевые слова: СУОТ, производственный травматизм, система охраны труда, внутренние и внешние факторы, математическое моделирование, химический комплекс.

Tairova T.M. Assessment of the health and industrial safety management system in the chemical complex

Purpose. Assessment of the performance of the health and industrial safety management system and its subsystems, the formation of scientifically based measures to prevent industrial injuries.

Research methods. To achieve this goal, a systematic approach and a method of comprehensive analysis of annual statistical reporting on accidents at work taking into account the causes of their occurrence were used: organizational, technical and sanitary, an analytical method. For determining the risk of accidents at chemical enterprises were using the IRRAS program and dependencies performance of the labor protection system from indicators characterizing the factors of the external and internal environment at the enterprises of chemical of the complex were established. A method has been developed for determining the risk of accidents at work from the standpoint of compliance by an employee and an employer with labor protection regulations. The study of the labor protection system in the chemical complex was carried out using a systematic approach based on a mathematical model.

Scientific novelty. A mathematical model of the labor protection system was built, which, unlike the existing ones, makes it possible to comprehensively evaluate the effective of the system, taking into account the effective of all its subsystems, to determine the factor that most influences its effective.

Practical value. The results obtained allow us to develop scientifically-based management decisions and the most effective measures for the chemical complex, based on a comprehensive assessment of the performance of an OSH system and its subsystem - labor protection systems, and their use will prevent the occurrence of dangerous situations, accidents and industrial injuries in the chemical complex.

Results. A comprehensive analyse of the effective of each subsystem of the labor protection system was carried out, generalized or most influential indicators for their evaluation were determined, the risk of dangerous situations and accidents at work was quantified, by using the program IRRAS and the methodology, that was developed, complex grouping of statistics datas of violations of the requirements of the NPAOP by the main participants in the labor process - the employee and the employer.

Keywords: health and industrial safety management system, industrial injuries, labor protection system, internal and external factors, mathematical modeling, chemical complex.

УДК 622.272

Письменный С.В. Исследование формы очистного блока в неустойчивых рудах Криворожского железорудного бассейна

Цель. Целью данной работы является повышение железа в добытой рудной массе за счет изменения формы очистной камеры и ее объема путем исследования устойчивых ее параметров при отработке железных руд Криворожского железорудного бассейна в неустойчивых породах. Это связано с тем, что железные руды Криворожского железорудного бассейна на глубинах более 1350 м. традиционными системами разработки в сложных горно-геологических условиях приводит к повышенным потерям и засорению добытой рудной массы из-за неустойчивого массива железных руд.

Методы исследования. С целью повышения показателей извлечения, предложена идея, основанная на формировании очистной камеры квазипараболической формы, которая позволяет сохранить устойчивость очистной камеры на весь период отработки. Устойчивость очистной камеры обеспечивается оптимальным соотношением ее высоты к ширине и радиусов вертикального и горизонтального обнажений согласно гипотезе Слесарева В.Д. Для определения достоверности результатов исследований использовался метод конечных элементов и утвержденной методики для определения конструктивных элементов системы разработки.

Научная новизна. Установлено, что максимальное давление зависит от угла приложенной нагрузки к контуру очистной камеры и физико-механических свойств горных пород окружающих ее, который влияет на радиусы вертикального и горизонтального обнажений. Впервые установлены, зависимости ширины очистной камеры и ее высоты от радиуса вертикального обнажения, при которых очистная камера является устойчивой на весь период отработки блока.

Практическая значимость. Разработана методика по определению параметров очистной камеры квазипараболической формы, которая позволяет определить устойчивые параметры очистной камеры. Также определена величина максимального разрушающего давления на контуре очистной камеры квазипараболической формы.

Результаты. Установлено, что увеличить объем добытой чистой руды из блока на 20% возможно за счет применения очистной камеры квазипараболической формы при отработке неустойчивых железных руд.

Ключевые слова: очистная камера, обнажение, устойчивость, радиус, нагрузка, рудная масса, свод.

Письменный С.В. Дослідження форми очисного блоку в нестійких рудах Криворізького залізорудного басейну

Мета. Метою даної роботи є підвищення заліза в видобутій рудній масі за рахунок зміни форми очисної камери та її об'єму шляхом дослідження стійких її параметрів при відпрацюванні залізних руд Криворізького залізорудного басейну в нестійких рудах. Це пов'язано з тим, що залізні руди Криворізького залізорудного басейну на глибинах понад 1350 м. Традиційними системами розробки в складних гірничо-геологічних умовах призводить до підвищених втрат і засмічення видобутої рудної маси через нестійкий масив залізних руд.

Методи дослідження. З метою підвищення показників вилучення, запропонована ідея, заснована на формуванні очисної камери квазіпараболічної форми, яка дозволяє зберегти стійкість очисної камери на весь період відпрацювання виймального блоку. Стійкість очисної камери забезпечується оптимальним співвідношенням її висоти до ширини і радіусів вертикального і горизонтального оголень згідно гіпотези Слесарева В.Д. Для визначення достовірності результатів досліджень використовувався метод кінцевих елементів і затверджена методика НДІГРІ для визначення конструктивних елементів системи розробки.

Наукова новизна. Встановлено, що максимальний тиск залежить від кута прикладеного навантаження до контуру очисної камери і фізико-механічних властивостей гірських порід, які оточують її та впливають на радіуси вертикального і горизонтального оголень. Вперше встановлені, залежності ширини очисної камери та її висоти від радіусу вертикального оголення, при яких очисна камера є стійкою на весь період відпрацювання блоку.

Практична значимість. Розроблено методику по визначенню параметрів очисної камери квазіпараболічної форми, яка дозволяє визначити стійкі параметри очисної камери. Також визначена величина максимального руйнівного тиску на контурі очисної камери квазіпараболічної форми.

Результати. Встановлено, що збільшити обсяг видобутої чистої руди з блоку на 20% можливо за рахунок застосування очисної камери квазіпараболічної форми при відпрацюванні нестійких залізних руд.

Ключові слова: руда, очисна камера, оголення, стійкість, радіус, навантаження, рудна маса, склепіння.

Pysmennyi S.V. Research of the form of a cleaning unit in unstable breeds of the Kryvyi Rih iron ore basin

Purpose. To increase iron in the mined ore mass by changing the shape of the cleaning chamber and its volume by studying its stable parameters when mining iron ores of the Kryvyi Rih iron ore basin in unstable rocks. This is due to the fact that iron ores of the Kryvyi Rih iron ore basin at depths of more than 1,350 m. By traditional development systems in difficult geological conditions lead to increased losses and contamination of the mined ore mass due to the unstable iron ore massif.

Research methods. In order to improve recovery rates, an idea was proposed based on the formation of an arched shape cleaning chamber, which allows maintaining the stability of the cleaning chamber for the entire period of mining. The stability of the cleaning chamber is ensured by the optimal ratio of its height to width and the radii of vertical and horizontal outcrops according to the hypothesis of V. Slesarev. To determine the reliability of the research results, the finite element method and the approved methodology were used to determine the structural elements of the development system.

Scientific novelty. It was established that the maximum pressure depends on the angle of the applied load to the contour of the cleaning chamber and the physical and mechanical properties of the rocks surrounding it, which affects the radii of vertical and horizontal outcrops. For the first time, the dependences of the width of the cleaning chamber and its height on the radius of the vertical outcrop, in which the cleaning chamber is stable for the entire period of the block development, are established.

Practical significance. A technique has been developed for determining the parameters of a clearing chamber of an arch-shaped form, which allows determining the stable parameters of a clearing chamber. The value of the maximum destructive pressure on the contour of the arch-shaped cleaning chamber was also determined.

Results. It has been established that it is possible to increase the volume of mined pure ore from the block by 20% through the use of an arch-shaped cleaning chamber when mining unstable iron ores.

Keywords: cleaning chamber, outcrop, stability, radius, load, ore mass, arch.

УДК 622.833

Шашенко О.М., Хозяйкіна Н.В., Дубовик О.І. Оцінка економічної доцільності повторного використання підготовчих виробок на шахті «Краснолиманська»

Мета. Аналіз стану вугільної галузі як в Україні, так і в світі свідчить про те, що з часом альтернативні джерела енергії замінять теплову генерацію. Тривалість переходу до принципово іншої енергетики за оцінкою спеціалістів становить 30-50 років. За цей час ефективність теплової генерації електричної енергії буде суттєво залежати від собівартості вугілля, що видобувається. Таким чином, обґрунтування параметрів технологій, що забезпечують найбільш економічно доцільний видобуток вугілля є актуальною задачею сьогодення. Одним із таких напрямів технологічного вдосконалення є повторне використання підготовчих виробок. У статті розглянуті різні критерії економічної доцільності такого використання і наведено розрахунок для гірничо-геологічних умов шахти «Краснолиманська».

Методи дослідження. Методологія досліджень полягає в чисельному моделюванні стійкості виробки і конструюванні кріплення з

набором таких елементів, при яких зміщення контуру виробки не перевищить 0,3-0,4 м. Кожен варіант супроводжується відповідним економічним розрахунком, що дозволяє порівняти вартість спорудження нового штреку з таким, що підтримується з ремонтом та використовується повторно.

Наукова новизна. Особливістю розрахунків є сукупність аналітичних, і натурних досліджень, що дозволила для гірничо-геологічних умов шахти «Краснолиманська» обґрунтувати параметри і конструкції кріплення для повторного використання конвеєрного штреку.

Практична значимість. В результаті перебору був рекомендований варіант кріплення підготовчої виробки, що включає анкери двох рівнів, податливе кріплення і охоронну полосу.

Результати. Використання рекомендацій, отриманих в результаті досліджень, дозволили отримати економічний ефект 5 314 065 гривень, або 3 640 гривень на 1 м виробки.

Ключові слова: гірничо-геологічні умови, конвеєрна виробка, вентиляційний штрек, очисні роботи, економічно доцільний видобуток, критерії економічної доцільності, повторне використання виробок.

Шашенко А.Н., Хозяйкіна Н.В., Дубовик А.И. Оценка экономической целесообразности повторного использования подготовительных выработок на шахте «Краснолиманская»

Цель. Анализ состояния угольной отрасли как в Украине, так и в мире свидетельствует о том, что со временем альтернативные источники энергии заменят тепловую генерацию. Период перехода к принципиально иной энергетике по оценке специалистов составляет 30-50 лет. За это время эффективность тепловой генерации электрической энергии будет существенно зависеть от себестоимости добываемого угля. Таким образом, обоснование параметров технологий, обеспечивающей наиболее экономически целесообразную добычу угля является актуальной задачей сегодняшнего дня. Одним из таких направлений технологического прорыва является повторное использование подготовительных выработок. В статье рассмотрены различные критерии экономической целесообразности такого использования и приведен расчет для горно-геологических условий шахты «Краснолиманская».

Методы исследования. Методология исследований состоит в численном моделировании устойчивости выработки и конструировании крепи с набором таких элементов, при которых смещение контура выработки не превысит 0,3-0,4 м. Каждый вариант сопровождается соответствующим экономическим расчетом, позволяющим сравнить стоимость сооружения нового штрека с ремонтом повторно используемого.

Научная новизна. Особенностью расчетов является совокупность аналитических, и натурных исследований, позволявшая в горно-геологических условиях шахты «Краснолиманская» обосновать параметры и конструкции крепи для повторного использования конвейерного штрека.

Практическая значимость. Использование рекомендаций, полученных в результате исследований, позволит получить экономический эффект 5 314 065 грн, или 3 640 грн на 1 м выработки.

Результаты. В результате перебора был рекомендован вариант крепи подготовительной выработки, включающий анкеры двух уровней, податливую крепь и охрannую полосу.

Ключевые слова: горно-геологические условия, конвейерная выработка, вентиляционный штрек, очистные работы, экономически целесообразная добыча, критерии экономической целесообразности, повторное использование выработок

Shashenko O.M., Khoziaikina N.V. Dubovyk O.I. Economic expediency of development excavation reuse at the Krasnolimanska mine.

Purpose. Analysis of Ukrainian and the world coal industry suggest that, over time, alternative energy sources will replace thermal generation. According to experts, the period of transition to a fundamentally different energy sector is 30-50 years. During this time, the thermal generation efficiency of electric energy will significantly depend on the coal produced cost. In this way the justification of technical parameters, providing the most economical expediency coal mining, is a necessity of today. One of these areas of technological breakthrough is the reuse of development excavation. The article is shown various criteria for the economic expediency of such use and provided a calculation for the mining and geological conditions of the Krasnolimanska mine.

Research methods. The research methodology consists of numerical modeling of the excavation stability and the design of support with a set of such elements in which the contour displacement of the excavation does not exceed 0.3-0.4 m. Each option is accompanied by an appropriate economic calculation, allowing to compare the cost of building a new drift with the repair of excavation reuse.

Scientific novelty. The calculations feature is a combination of analytical and in-situ measurements, which allowed to justify

the parameters and support designs for the conveyor drift reuse in the mining and geological conditions of the Krasnoliman-ska mine.

Practical value. Addressing the issue of resource saving in the preparation of excavation sites, to substantiate the economic feasibility of reuse excavation, appropriate criteria have been proposed. These criteria are discussed in the article and include three conditions necessary for the expedient reuse of excavation. Using of recommendations obtained as a research result will provide an economic effect of 5 314 065 UAH, or 3 640 UAH per 1 meter of mining excavation.

Results. As a result of the search, a support option for development excavation was recommended, including two levels anchors, ductility support and a guard constructure. Subject to overlap and undermining 50% of the length of excavation, the technical solutions show in the article are aimed at ensuring its sustainability and are economically viable.

Keywords: mining and geological conditions, conveyor excavation, ventilation drift, exploitation works, economically expediency mining, criteria for economic expediency, reuse of excavation.

УДК 622.833:622.26

Бабец Д.В., Сдвижкова Е.А., Сосна Д.О. Численное моделирование влияния поверхности трещин при оценке прочности породного массива

Цель. Совершенствование методики определения прочности породного массива, основанной на вероятностно-статистическом подходе, с учетом различных характеристик трещиноватости пород. Установление зависимости реальной прочности породного массива от качества поверхностей потери сплошности на основе многовариантного моделирования дефектного породного массива с использованием метода дискретных элементов.

Методы исследования. Проанализированы основные отечественные и зарубежные подходы к определению реальной прочности массива горных пород. Показаны преимущества применения вероятностно-статистического подхода при аналитическом определении коэффициента структурного ослабления. Использована статистическая теория прочности для определения коэффициента структурного ослабления, с учетом различных характеристик трещиноватости. С использованием метода дискретных элементов разработана численная модель породного массива пересеченного трещиной. Метод нелинейного регрессионного анализа применен к результатам численного моделирования для аппроксимации функции учета качества поверхности трещины.

Научная новизна. Впервые при определении коэффициента структурного ослабления на основе статистической теории прочности количественно учитывается качество поверхности потери сплошности.

Практическая значимость. Получена зависимость коэффициента вариации (необходимого элемента определения коэффициента структурного ослабления) от качества поверхности трещины, расстояния между трещинами и угла падения трещин в массиве горных пород. Разработана методика обобщения качественной информации о состоянии трещины и сведения ее к единому количественному индексу.

Результат. Проведенные исследования позволили сделать очередной шаг к решению актуальной задачи определения реальной прочности сложноструктурного породного массива, содержащего дефекты.

Усовершенствована вероятностно-статистическая модель прочности дефектного породного массива, что позволило повысить адекватность определения коэффициента структурного ослабления.

Ключевые слова: прочности массива горных пород, коэффициент структурного ослабления, статистическая теория прочности, метод дискретных элементов, численное моделирование, трещиноватость.

Бабец Д.В., Сдвижкова О.О., Сосна Д.О. Чисельне моделювання впливу поверхні тріщини при оцінці міцності породного масиву

Мета. Удосконалення методики визначення міцності породного масиву, що базується на ймовірнісно-статистичному підході, з урахуванням різних характеристик тріщинуватості породного масиву. Встановлення залежності реальної міцності породного масиву від якості поверхонь втрати суцільності на основі багатоваріантного моделювання дефектного породного масиву з використанням методу дискретних елементів.

Методи дослідження. Проаналізовано основні вітчизняні та зарубіжні підходи до визначення реальної міцності масиву гірських порід. Показано переваги застосування ймовірнісно-статистичного підходу при аналітичному визначенні коефіцієнта структурного ослаблення. Використана статистична теорія міцності для визначення коефіцієнта структурного ослаблення, з урахуванням різних характеристик тріщинуватості. З використанням методу дискретних елементів розроблена чисельна модель породного масиву пересіченого тріщиною. Метод нелінійного регресійного аналізу застосований до результатів чисельного моделювання для апроксимації функції врахування якості поверхні тріщини.

Наукова новизна. Вперше при визначенні коефіцієнта структурного ослаблення на основі статистичної теорії міцності кількісно враховується якість поверхні втрати суцільності.

Практична значимість. Отримано залежність коефіцієнта варіації (необхідного елемента визначення коефіцієнта структурного ослаблення) від якості поверхні тріщини, відстані між тріщинами і кута падіння тріщин в масиві гірських порід. Розроблено методику узагальнення якісної інформації про стан тріщини і зведення її до єдиного кількісного індексу.

Результат. Проведені дослідження дозволили зробити черговий крок до вирішення актуальної задачі визначення реальної міцності складноструктурного породного масиву, що містить дефекти. Удосконалено ймовірнісно-статистичну модель міцності дефектного породного масиву, що дозволило підвищити адекватність визначення коефіцієнта структурного ослаблення.

Ключові слова: міцність масиву гірських порід, коефіцієнт структурного ослаблення, статистична теорія міцності, метод дискретних елементів, чисельне моделювання, тріщинуватість.

Babets D.V., Sdvizhkova O.O., Sosna D.O. Numerical simulation of the joint conditions effect on the rock mass strength

Purpose. Improvement of the technique for determining the rock mass strength based on the probabilistic-statistical approach taking into account the various characteristics of rock joints. Determining the dependence between design strength of the rock mass and joint condition based on the multivariate numerical simulation of the defective rock mass using Discrete Element Method.

Research methods. The core domestic and foreign approaches to determining the design strength of rock mass are analysed. The advantages of using the probabilistic-statistical approach in the analytical determination of the structural factor are shown. The statistical strength theory is used to determine the structural factor considering various characteristics of joints. Numerical model of a defective rock mass using the Discrete Element Method is developed. The method of nonlinear regression analysis is applied to the results of numerical simulation to approximate the joint condition function.

Scientific novelty. For the first time the structural factor was determined taking into account joint conditions based on the statistical strength theory and probabilistic approach.

Practical value. The dependence between the coefficient of variation (a necessary component for determining the structural factor) and rock joint conditions, joint spacing and the orientation of joints is obtained. A technique of generalization the qualitative data concerning rock joint conditions and transformation of such information to a single quantitative index was developed.

Results. These studies allow bring the solution to the problem of determining the real strength of a heterogeneous rock mass with structural defects. The probabilistic-statistical model of the strength of a defective rock mass has been improved that increases the adequacy of determining the structural factor.

Keywords: rock mass strength, structural factor, statistical strength theory, Discrete Element Method, numerical simulation, rock joints.