

Міністерство освіти і науки України
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

В і с н и к
Криворізького національного
університету

Збірник наукових праць

Випуск 48

Кривий Ріг 2019

Редакційна колегія: **Ступнік М.І.**, д-р техн. наук, проф. (головний редактор); **Моркун В.С.**, д-р техн. наук, проф., (заступник головного редактора); **Азарян А.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Бережний М.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Березовський А.А.**, д-р геол. наук, проф.; **Бровко Д.В.**, канд. тех. наук., доц.; **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.; **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., Охрид, Македонія; **Ільяс Ніколає**, д-р техн. наук, проф., Петрошани, Румунія; **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., Массачусетс, США; **Купін А.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Лялюк В.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Моркун Н.В.**, 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.; **Перебудов В.В.**, 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.; **Титюк В.К.**, канд. техн. наук, доц.; **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, економіки, надійності охорони праці, техніки безпеки, захисту довкілля.

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

Випуск № 48 рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет Вченою радою ДВНЗ «Криворізький національний університет» (протокол № 9 від 23.04.2019 року).

Адреса редакції: ДВНЗ «Криворізький національний університет»

вул. Пушкіна, 44, Кривий Ріг, 50002,

Тел. (056) 409 61 29

web-сайт <http://visnykknu.com.ua>

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

Моркун В.С., Моркун І.Л., Сердюк О.Ю. Використання високоенергетичного ультразвуку для оцінки параметрів процесу осадження часток твердої фази пульпи	3
Мацуї А.М., Кондратець В.О., Абашина А.А. Системний аналіз роботи механічного односпірального класифікатора як об'єкта керування	8
Таїрова Т. М. Математична модель системи охорона праці вугільної галузі	13
Орловський В. М., Білецький В. С., Похилко А. М. Термостійкі полегшені тампонажні суміші з використанням золи-виносу ТЕС	18
Рыбак А.И., Балдук Г.П., Азарова И.Б. Модель оценки качества городской среды	23
Грін'ов В. Г., Хорольський А. О., Мамайкін О. Р. Оцінка стану та оптимізація параметрів технологічних схем вугільних шахт	31
Данова К.В. Використання методу аналізування видів і наслідків відмов у дослідженні ризиків на робочому місці працівника із інвалідністю	37
Крячко В.Г. Охорона праці у вищих навчальних закладах щодо емоційного вигорання науково-педагогічних працівників	41
Переверзєв А.В., Арутюнян В.Е. Інформаційні технології у рішенні задач систем масового оповіщення, перспективи їх вдосконалення та розвитку	48
Куліковська О.Є., Атаманенко Ю.Ю., Копайгора О.К. Проблеми впровадження сучасного геодезичного обладнання у кадастровій діяльності Кривого Рогу	50
Бабошко Д. Ю., Губин Г.Г., Кравчук Л.Н., Губина В. Г., Зима С.Н. Пирометаллургия титаномагнетитовых концентратов коренных комплексных руд	58
Замицький О.В., Літовко Б.М., Шепеленко М.І. Використання засобів імітаційного моделювання в лабораторних дослідженнях відцентрового сепаратора краплинної вологи	64
Федоренко П.Й., Переметчик А.В., Подойніцина Т.О. Гірничо-геометричні методи для оцінки та моделювання залізородних родовищ Кривбасу	68
Тищенко С. В., Еременко Г. И., Малых Д. Ю. Зависимость процесса взрывного разрушения от физико-механических свойств среды	75
Дубровський С.С., Реброва С.В. Використання сучасних технологій при виготовленні та ремонті елементів конструкцій гірничо-збагачувального обладнання	79
Замицький О.В., Бондар Н.В., Крадожон С.О. Інноваційні технології в процесі сушки тонкодисперсних матеріалів	83
Несмашний Є.О., Ткаченко Г.І., Герасимова К.В. Використання чисельних методів моделювання фізичних процесів в закладах вищої освіти	88
Рудь Ю.С., Кучер В.Г., Белоножко В.Ю. Анализ конструкции и повышение технического уровня колосниковых решеток агломерационных и обжиговых машин	94
Пристинський М.Г., Гірін І.В., Пахомов В.І. Впровадження інформаційних технологій в процес управління міськими перевезеннями в Україні	99
Кузнєцов Д.І. Інформаційна система прогнозування кількості виробленої енергії сонячною електростанцією	105
Коверніченко Л.М., Хільченко О.П. Штучні будівельні матеріали	111
Даниліна Г.В., Жукова Л.Л., Андрусевиц Н.В., Цвіркун С.Л. Стохастичне керування параметрами уразливостей з використанням ескалаційних пасток	114
Наливайко В.Г., Мовчан О.Г., Лосьєв К.В. Влияние профилактических ремонтных работ на уменьшение заболеваемости работников предприятий теплоснабжения	121
Швагер Н.Ю., Комісаренко Т.А., Нестеренко О.В. Розгляд технологій гасіння шахтних пожеж	126
Нечаєв В.П., Рязанцев А.О. Оптимізація технологічних параметрів процесу поверхневого плазмового зміцнення великомодульних зубчастих коліс	132
Латишин О.Є., Латишин О.О. Охорона рудникової атмосфери від забруднення в гірничих виробках шахт	137

<i>Валовой О.І., Єрьоменко О.Ю., Валовой М.О.</i> Визначення впливу форми поперечного перерізу стиснутих залізобетонних елементів на ефективність їх підсилення зовнішнім армуванням композитними полотнищами	143
<i>Замицький О.В., Калініченко А.А.</i> Принципи застосування альтернативних джерел енергії на об'єктах теплопостачання комунального господарства та виробництва	148
<i>Вдовиченко І.Н., Ватря О.С.</i> Аналіз додатку емуляції тривимірної сцени із використанням шейдерів та засобів OpenGL	154
<i>Герасимова К.В., Тихоступ В.В.</i> Фізико-хімічні показники води шламосховищ криворізького регіону та їх зв'язок з флористичною структурою прибережної рослинності	159
<i>Сінчук І.О., Касаткіна І.В., Дозоренко О.В., Краснопольський Р.І.</i> Новий погляд на вирішення проблеми підвищення енергоефективності водовідливних установок залізрудних підприємств	164
<i>Шолох М.В., Сергєєва М.П.</i> Моніторинг втрат і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин на гірничовидобувному підприємстві	170
<i>Кляцкий В.И., Лопушан А.В.</i> Повышение надежности и долговечности рабочих органов горно-обогатительного оборудования за счет совершенствования их конструкции	177
АНОТАЦІЇ ..	
<i>А н о т а ц і ї ..</i>	184

УДК 504.55.054:622(470.6)

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

ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНОГО УЛЬТРАЗВУКУ ДЛЯ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОСАДЖЕННЯ ЧАСТОК ТВЕРДОЇ ФАЗИ ПУЛЬПИ

Мета. Метою даної роботи є підвищення якості автоматизованого керування процесом дешламації шляхом побудови моделі осадження частинок твердої фази рудної суспензії в дешламаторі під впливом радіаційного тиску високоенергетичного ультразвуку.

Методи дослідження. У роботі використано методи чисельного моделювання, аналітичного конструювання і комп'ютерного моделювання, комп'ютерні інформаційні та програмні технології для підвищення якості інформаційного забезпечення автоматизованого керування процесом дешламації.

Наукова новизна. У роботі пропонується метод оцінки параметрів процесу осадження часток твердої фази рудної суспензії в контрольованій зоні дешламатора на основі аналогії з керованим впливом на них радіаційного тиску високоенергетичного ультразвуку, що дозволяє здійснювати прогнозує керування характеристиками згущеного продукту дешламатора та підвищити якість магнітного продукту.

Практична значимість полягає у розробленні інформаційної бази для формування прогнозного керування характеристиками згущеного продукту дешламатора шляхом розробки математичної моделі проходження ультразвукової хвилі через тверду фазу рудної суспензії, моделювання та верифікація побудованої моделі в програмному пакеті Wave Form Revealer.

Результати. На основі результатів дослідження впливу динамічних ефектів високоенергетичного ультразвуку на тверду фазу рудної суспензії в контрольованій зоні дешламатора теоретично обґрунтований і експериментально апробований метод просторового впливу, що дозволяє здійснювати цілеспрямоване зміщення часток подрібненої руди певної маси і змінення фракційного складу твердої фази рудної суспензії. На підставі аналогії між фізичним впливом радіаційного тиску високоенергетичного ультразвуку на частки твердої фази рудної суспензії і їх поведінкою в гравітаційному полі в початковій стадії процесу осадження в дешламаторі моделюються основні його параметри для формування прогнозного керування характеристиками згущеного продукту. Середньоквадратична розбіжність між моделлю і експериментом в контрольних точках гранулометричної характеристики склала 0,87%.

Ключові слова: керування технологічним процесом збагачення руди, дешламатор, рудна суспензія, автоматизація, високоенергетичний ультразвук, моделювання, хвилі Лемба, осадження часток подрібненої руди.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-3-8

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними задачами. Технологічні процеси рудозбагачувальних фабрик передбачають видалення шламів перед збагачувальним переділом, що здійснюється за допомогою гідроциклонів і дешламаторів. Метою цих операцій є видалення з пульпи тонкодисперсної частини подрібненої руди (шламів) для підвищення якості магнітного продукту. Зменшити негативний вплив змін характеристик вихідної руди на енергоспоживання технологічних комплексів збагачувальної фабрики і при цьому максимізувати їх продуктивність по концентрату заданої якості можливо тільки при наявності оперативної інформації про основні характеристики сировини і продуктів збагачення і ефективного їх використання в технологічному процесі. З підвищенням вимог до якості кінцевого продукту збагачувального виробництва все більш актуальним стає використання нових наукоємних технологій розділових процесів. До таких, зокрема, відноситься ультразвукова обробка сировини, що переробляється.

Аналіз досліджень і публікацій. Високоенергетичний ультразвук є ефективним засобом впливу на ряд фізичних, хімічних і біологічних процесів. Інтенсивні хвилі мають ряд особливостей, різко відмінних від властивостей хвильових процесів малої інтенсивності. Врахування цих особливостей дозволяє ідентифікувати мінеральні різновиди руди, підвищити селективність поділу мінералів відповідно до їх властивостями і за рахунок цього зменшити енерго- і ресурсомісткість технологічного процесу збагачення, підвищити якість його кінцевого продукту. Для визначення параметрів керування технологічним процесом збагачення руди розроблено ряд методів і засобів, що дозволяють здійснювати вимірювання характеристик рудного матеріалу із застосуванням ультразвукових технологій [1, 2, 4-9].

Поширення високоенергетичного ультразвуку супроводжується цілим рядом ефектів, що характеризуються залежністю від амплітуди хвилі. Наявність так званих нелінійних ефектів істотно змінює картину поширення інтенсивної ультразвукової хвилі і, зокрема, характер її

взаємодії з середовищем [8-10]. Під впливом потужного ультразвуку в рідкому середовищі виникають акустичні потоки, під дією яких відбувається інтенсивне перемішування пульпи.

Для отримання первинної інформації про процес осадження частинок твердої фази рудної суспензії в контрольованій зоні дешламатора пропонується метод вимірювань на основі поверхневих хвиль Лемба і високоенергетичного ультразвуку [1-5,8].

Постановка задачі. Розробка і верифікація математичної моделі взаємодії високоенергетичного ультразвуку з частками твердої фази рудної суспензії в контрольованій зоні дешламатора дозволить вирішити задачу отримання необхідної інформації про характеристики середовища, а також сформулювати оптимальні умови ведення технологічного процесу знешламлювання та підвищити якість кінцевого залізорудного концентрату.

Викладення матеріалів і результатів. Використання методу вимірювань параметрів процесу осадження часток подрібненої руди в початковій його стадії на основі поверхневих хвиль Лемба і високоенергетичного ультразвуку дозволяє змоделювати процес і отримати вихідну інформацію для формування прогнозного керування дешламатором.

Запропонований метод реалізується за допомогою вимірювального модуля, конструкція якого може бути виконана в стаціонарному чи мобільному варіанті. Спочатку вимірювальний модуль 7 розміщується в воді (рис.1). У стінці 8 вимірювального модуля 7 за допомогою формуючої призми 1 та випромінювального п'єзоперетворювача 2 збуджуються ультразвукові поверхневі хвилі Лемба, що проходять по ній фіксовану відстань l . За допомогою формуючої призми 3 і приймального п'єзоперетворювача 4 здійснюється зворотне перетворення хвиль Лемба в електричний сигнал. У блоці обробки інформації та управління 6 визначається величина загасання інтенсивності хвиль Лемба при контакті вимірювальної поверхні 8 з водою. Ця величина далі використовується як еталонна (базова).

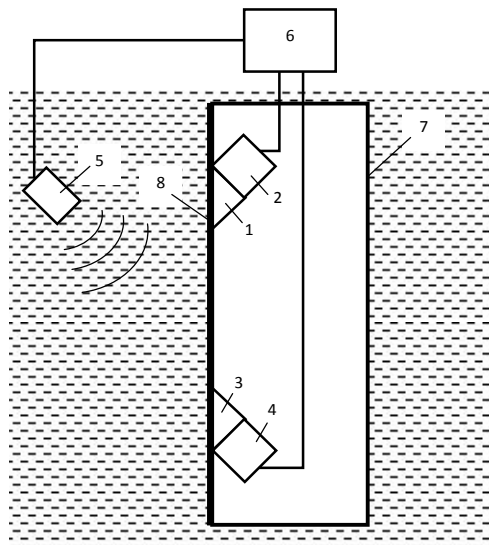


Рис. 1. Схема вимірювання змін концентрації твердої фази рудної суспензії в дешламаторі під впливом високоенергетичного ультразвуку: 1, 3 - формуючі призми; 2, 4 - п'єзоперетворювачі; 5 - джерело високоенергетичного ультразвуку; 6 - блок обробки інформації та управління; 7 - вимірювальний модуль; 8 - вимірювальна поверхня

У робочому стані вимірювальний модуль розміщується в рудній суспензії, яка знаходиться в дешламаторі. У цьому випадку коефіцієнт загасання ультразвукових хвиль Лемба, що пройшли фіксовану відстань l по стінці вимірювального модуля, визначається виразом [4,5]

$$\alpha = \left[(1 - W) \frac{\rho_B}{\rho} + W \frac{\rho_T}{\rho} \right] C_v, \quad (1)$$

де W - концентрація твердої фази в суспензії; ρ_B , ρ_T , ρ - питома вага води, часток твердої фази суспензії і матеріалу вимірювальної поверхні.

У цьому виразі величина C_v не залежить від параметрів, середовища, що контролюється, а є функцією хвильових чисел ультразвукових хвиль Лемба, поздовжніх і поперечних хвиль матеріалу вимірювальної поверхні.

Інтенсивність хвиль Лемба після проходження фіксованої відстані l по вимірювальній поверхні може бути визначена за формулою

$$I_L = I_{0L} \exp \left(- \left[(1 - W) \frac{\rho_B}{\rho} + W \frac{\rho_T}{\rho} \right] C_v l \right), \quad (2)$$

де I_L , I_{0L} - відповідно інтенсивність ультразвукових хвиль Лемба, які випромінюються, і пройшли відстань l .

Якщо вимірювальна поверхня контактує з чистою водою, то інтенсивність ультразвукових хвиль Лемба в цьому випадку

$$I_{BL} = I_{0L} \exp \left(- \frac{\rho_B}{\rho} C_v l \right). \quad (3)$$

3 (2) та (3) слідує

$$I_L = I_{BL} \exp\left(-\frac{WC_v l}{\rho}(\rho_\tau - \rho_B)\right), \quad (4)$$

тобто інтенсивність прийняття сигналу визначається тільки концентрацією твердої фази рудної суспензії та довжиною ділянки вимірювань l .

Відповідно до запропонованого способу обчислюється величина θ_1

$$\theta_1 = \ln \frac{I_{BL}}{I_L} = W \frac{(\rho_T - \rho_B)}{\rho} C_v l. \quad (5)$$

З цього виразу видно, що концентрація твердої фази Wv або густина контролюваного середовища на ділянці вимірювань l визначається логарифмом відношення інтенсивності ультразвукових хвиль Лемба при наявності води і рудної суспензії у вимірювальній камері, які контактують із металевою пластинною.

Параметри вимірювального каналу визначено на основі його моделювання за допомогою програмного пакету Waveform Revealer [10]. На рис. 2 наведено форму імпульсу хвиль Лемба (частота 1 МГц, вимірювальна база 500 мм, пластинна з нержавіючої сталі товщиною 2 мм, питома вага матеріалу пластини 7850 кг/м²), а на рис. 3 - основні характеристики процесу їх розповсюдження у вимірювальному каналі.

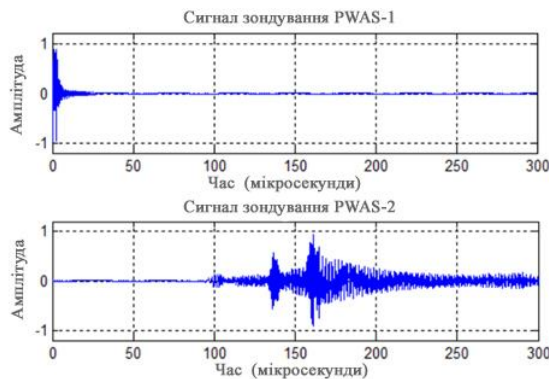


Рис. 2. Форма імпульсу хвиль Лемба у вимірювальному каналі

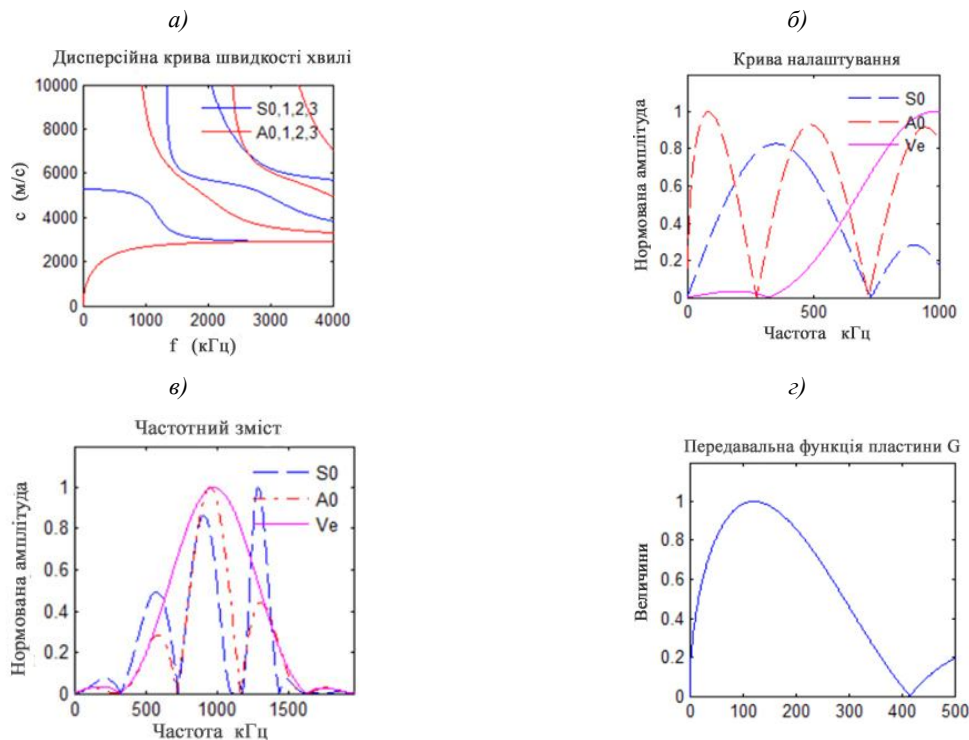


Рис. 3. Основні характеристики процесу розповсюдження хвиль Лемба у вимірювальному каналі: а - дисперсійна крива швидкості хвилі (S0, 1,2,3; A0, 1,2,3 – симетричні та антисиметричні моди); б - крива налаштування; в - частотний зміст хвильового пакету; г - передавальна функція структури

На рис. 2 приймальний перетворювач PWAS-1 розташований в одному місці з випромінюючим перетворювачем PWAS для оцінки впливу його конструкції на процес розповсюдження хвилі Лемба. Позиція приймального перетворювача PWAS-2 визначає вимірювальну базу.

Моделювання хвиль Лемба є складним завданням, оскільки хвилі Лемба розповсюджуються в структурах з багатомодовими дисперсійними характеристиками. При певному значенні добутку частоти на товщину пластини кілька мод Лемба можуть існувати у вимірювальному каналі одночасно і їх фазові швидкості змінюються з частотою.

На фіг.3а наведено дисперсійні криві, а на рис. 2б показано перекриття спектру збудження з настроювальними кривими симетричних S_0 і антисиметричних хвиль A_0 . На рис. 3в показані спектри пакетів S_0 і A_0 , що відображають зсув частоти вправо і вліво відповідно через взаємодію між спектром збудження і кривими настройки. На рис. 3г показана структура передавальної функції $G(x, \omega)$.

Під впливом радіаційного тиску джерела високоенергетичного ультразвуку 5 відбувається зміщення часток твердої фази рудної суспензії в напрямку вимірювальної поверхні 7. При цьому характер зміни концентрації часток і розподілу їх за розмірами у полі високоенергетичного ультразвуку залежить від щільності самих часток, частоти та інтенсивності впливу випромінювання [2,3,6]. Оцінимо вплив радіаційного тиску ультразвуку на зміну концентрації частинок радіуса r . Нехай у напрямку осі x тече пульпа зі швидкістю v (рис. 4). Позначимо через $n_r(z, t)$ концентрацію часток радіуса r на глибині z в момент часу t . З урахуванням аналізу, виконаного в [7,8], можна записати

$$\frac{\partial n_r(z, t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} [v_r(z, t)n_r(z, t)]. \quad (6)$$

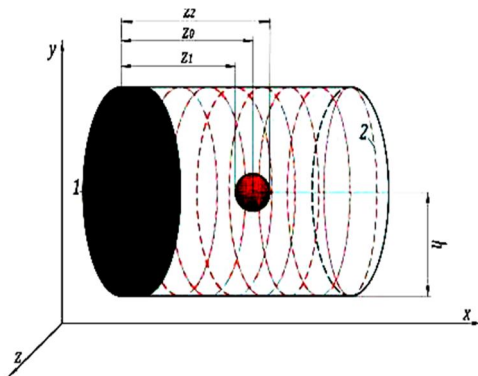


Рис. 4. Рух частки подрібненої руди у полі високоенергетичного ультразвуку

У цьому рівнянні $v_r(z, t)$ - швидкість зсуву частки радіуса r з координатою z в ультразвуковому полі. Швидкість спрямована уздовж осі z , тобто перпендикулярна напрямку руху пульпи. Вважаючи, що інтенсивність ультразвукової хвилі I змінюється за експоненціальним законом (первісне значення I_0), коефіцієнт її загасання α залежить від частоти ультразвуку ν_0 та з урахуванням аналізу, виконаного в роботі [8], концентрація частинок

$n_r(z, t)$ визначається за формулою

$$n_r(z, t) = n_0 \frac{e^{\alpha z}}{e^{\alpha z} - \alpha \beta t}, \quad (7)$$

де $n_r(z, 0) = n_0$, $n_r(0, t) = 0$ початкові та граничні умови;

$$St(X) = \begin{cases} 0, & X < 0 \\ 1, & X \geq 0 \end{cases}; \beta = \frac{2r(kr)^4}{27\eta c} I_0(a_1^2 + a_1 a_2 \frac{3}{4} a_2^2);$$

$$a_1 = 1 - \frac{rc^2}{\rho_T c_T^2}; \quad a_2 = 2 \frac{\rho_T - \rho}{2\rho_T + \rho},$$

де ρ_T , c_T - щільність часток і швидкість ультразвуку в матеріалі часток; ρ , c - щільність досліджуваного середовища і швидкість ультразвуку у ньому.

Розрахунок потужності високоенергетичного ультразвуку, який дозволяє здійснювати прогнозоване зміщення частинок подрібненої руди певної маси в потоці пульпи здійснювався на основі отриманих вище результатів дослідження процесу поширення фронту ультразвукового імпульсу (рис.5) за допомогою пакета HIFU Simulator v1.2 [9].

У блоці обробки інформації та управління 6 обчислюється відношення величини θ_1 , отриманої без впливу високоенергетичного ультразвуку і величини з його впливом на частинки твердої фази пульпи θ_2

$$k = \frac{\theta_1}{\theta_2}. \quad (8)$$

На рис. 6 наведені результати моделювання траєкторії зміщення часток руди трьох фракцій крупності в потоці пульпи під впливом радіаційного тиску високоенергетичного ультразвуку. Положення часток кожного розміру на десятому кроці з'єднані суцільними лініями.

Розроблена програма виконує розрахунок інтенсивності високоенергетичного ультразвуку в певній точці зони вимірювань, яка дозволяє здійснювати прогнозоване зміщення часток подрібненої руди певної маси і змінення фракційного складу твердої фази рудної суспензії під керуванням впливом радіаційного тиску високоенергетичного ультразвуку. Середньоквадратична розбіжність між моделлю і експериментом в контрольних точках відповідної характеристики склала 0,87%.

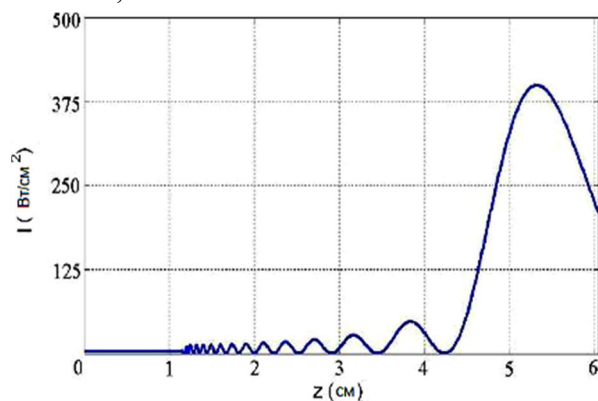


Рис. 5. Осьова інтенсивність ультразвукового випромінювання

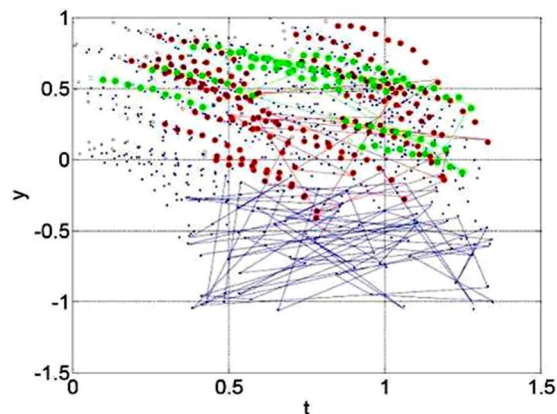


Рис.6. Результати моделювання зміщення частинок руди трьох фракцій крупності під впливом радіаційного тиску високоенергетичного ультразвуку

Висновки і напрямки подальших досліджень. На підставі аналогії між фізичним впливом радіаційного тиску високоенергетичного ультразвуку на частки твердої фази рудної суспензії і їх поведінкою в гравітаційному полі в початковій стадії процесу осадження в дешламаторі моделюються основні його параметри для формування прогноуючого керування характеристиками згущеного продукту.

Список літератури

1. Вікторов І.А. Звукові поверхневі хвилі в твердих тілах / І.А. Вікторов. - М.: Наука, 1981. - 287 с.
2. Goncharov S. Simulation and optimization of separation processes of mineral processing on basis of the dynamic effects of high-energy ultrasound, PhD diss., Krivoy Rog, 2014
3. Podgorodetsky MS Power effective adaptive control of the closed disintegration cycle of ore on the basis of hybrid fuzzy model, PhD diss., Kryvyi Rih, 2011.
4. Morkun, V., Morkun, N., Pikilnyak, A. Simulation of the Lamb waves propagation in the plate which contacts with gas containing iron ore pulp in Waveform Revealer toolbox, Metallurgical and Mining Industry, 2014, No 5, pp 16-19.
5. Morkun, V., Morkun, N., Tron, V., Hryshchenko, S. (2018). Study of the Lamb waves propagation along a plate in contact with a randomly inhomogeneous heterogeneous medium Eastern European Journal of Enterprise Technologies, 1 (5-91), с. 18-27.
6. Morkun, V., Tron, V., Goncharov, S. (2015) Automation of the ore varieties recognition process in the technological process streams based on the dynamic effects of high-energy ultrasound, Metallurgical and Mining Industry, No 2, pp 31 -34.
http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_2/006Tron.pdf
7. Morkun, V., Morkun, N., Pikilnyak, A. (2014 року) Simulation of high-energy ultrasound propagation in heterogeneous medium using k-space method, Metallurgical and Mining Industry, No 3, pp 23-27.
<http://www.metaljournal.com.ua/assets/Archive/en/MMI3/4.pdf>
8. Моркун В.С. Ультразвуковий контроль характеристик подрібнених матеріалів і адаптивне управління процесами подрібнення-класифікації руд на його базі: / В.С. Моркун. - Дисс. ... докт. техн. наук: 0.5.13.07. - Кривий Ріг, 1999. - 401 с.
9. Soneson J. HIFU Simulator v1.2. Режим доступу: <http://www.mathworks.com/ / Matlabcentral / fileexchange / 30886-high-intensity-focused-ultrasound-simulator>.
10. Yanfeng Shen, Victor Giurgiutiu. Waveform Revealer: An analytical framework and predictive tool for the simulation of multi-modal guided wave propagation and interaction with damage. Structural Health Monitoring 13 (5) May 2014.

Рукопис подано до редакції 02.04.2019

УДК 001.57:681.5.015: 681.542.35

А.М. МАЦУЙ, канд. техн. наук, доц., В.О. КОНДРАТЕЦЬ, д-р техн. наук, проф.,
А.А. АБАШИНА, студентка

Центральноукраїнський національний технічний університет

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ МЕХАНІЧНОГО ОДНОСПІРАЛЬНОГО КЛАСИФІКАТОРА ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Мета. Метою даної статті є проведення системного аналізу роботи механічного односпірального класифікатора як керованого об'єкта з тим, щоб намітити шляхи удосконалення керування технологічними процесами в ньому.

Методи дослідження. В роботі використані метод узагальнення результатів попередніх досліджень, аналізу результатів роботи, методи теорії ймовірностей, гідравліки, руху неньютонівських рідин, теорії гідравлічної класифікації, теорії перемішування сипких матеріалів, теорії автоматичного керування, теорії чутливості, випадкових процесів та операторний метод.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в тому, що запропоновано шляхи удосконалення теорії класифікації продуктів в односпіральних класифікаторах, а саме: перегляд основних теоретичних передумов теорії механічних односпіральних класифікаторів; описання динамічної рівноваги між перемішуванням і гравітаційним випадінням часток твердого; розвиток обґрунтування теорії перемішування пульпи; обґрунтування параметрів налагодження односпірального класифікатора; розроблення більш ефективного принципу керування механічним односпіральним класифікатором.

Практична значимість. Полягає в тому, що запропоновано конкретні шляхи удосконалення теорії механічних односпіральних класифікаторів, що дозволить суттєво покращити ефективність їх роботи і зменшити втрати в рудопідготовці в межах першої стадії подрібнення руди.

Результати. Односпіральні класифікатори порівняно з гідроциклонами потребують менше електроенергії, можуть розділяти більш крупний матеріал, відрізняється більш тривалими міжремонтними періодами, однак мають великі габарити, високу вартість. Оскільки це збільшує капітальні витрати на обладнання і будівництво споруд збагачувальних фабрик, намітилася тенденція їх витіснення гідроциклонами. В Україні цю тенденцію реалізувати не можливо враховуючи те, що збагачувальні фабрики експлуатуються давно, нанесені витрати в початковому періоді, а модернізація буде вимагати нових. Тому єдиним раціональним є шлях удосконалення роботи існуючого обладнання. Теоретики і практики розглядали процес розділення подрібненого матеріалу за крупністю на два продукти – злив і піски достатньо спрощено. Згодом в них виділяють окремі зони, отримують передавальні функції і роблять спроби автоматичного керування процесом, однак задовільних результатів не отримують. Встановлення структурних зв'язків між параметрами пульпи в процесі класифікації показало, що вони занадто складні. З одного боку, продуктивність односпірального класифікатора і крупність розділення залежать від площі дзеркала пульпи, швидкості осідання часток твердого максимальної крупності, що направляється у злив, крупності твердого в пульпі, змучувальної дії механізму класифікатора. З іншого боку, швидкість осідання часток твердого визначається в'язкістю пульпи, яка також залежить від крупності твердого і змучувальної дії механізму класифікатора. Крім того, в'язкість пульпи залежить від її густини, вмісту шламів і глиняних компонентів, температури. Видно, що тут має місце невизначеність. Так же виглядають фактори впливу. Для покращення роботи класифікаторів необхідно удосконалювати їх теорію.

Ключові слова: односпіральний класифікатор, аналіз, структурні зв'язки, теорія, шляхи удосконалення.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-8-13

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Залізорудні концентрати, які виробляють в Україні, програють на міжнародному ринку в наслідок дещо завищеної собівартості порівняно з зарубіжними аналогами. Одним з факторів покращення цього показника може бути удосконалення роботи односпірального механічного класифікатора ІКСН-30, який отримав розповсюдження в замкнених циклах подрібнення вихідної руди в перших стадіях рудозбагачувальних фабрик і не забезпечує достатньої ефективності розділення готового та недоподрібненого продуктів, що приводить до значних перевитрат електроенергії і втрати корисних компонентів. Тому на ці не вирішені задачі звертається увага в урядових документах, і такі роботи включаються в тематику наукових досліджень навчальних закладів. Прикладом цього є виконання тем «Автоматизація процесів керування розділенням твердого по крупності у механічних спіральних класифікаторах» (0115U003602) і «Моделювання технологічних процесів у механічних спіральних класифікаторах з метою вдосконалення математичних моделей» (0115U003962) в Центральноукраїнському національному технічному університеті.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженням механічних односпіральних класифікаторів вчені займаються давно. Великий внесок в результати таких досліджень зробили Грінман І.Г., Козін В.В., Кочура Є.В., Кошарський Б.Д., Купін А.І., Марюта О.М., Моркун В.С., Порку-

ян О.В., Тихонов О.М., Троп А.Е., А.Дж. Лінч, Дж. А. Хербст та інші. Серед останніх досліджень в Україні слід відмітити роботи [1-5]. Не дивлячись на великий обсяг проведених досліджень, системний аналіз роботи односпірального класифікатора як керованого об'єкта ніхто не здійснював. Тому він гальмує розвиток систем автоматичного керування першими стадіями подрібнення-класифікації вихідної руди на збагачувальних фабриках.

Постановка завдання. Метою роботи є проведення системного аналізу роботи механічного односпірального класифікатора як керованого об'єкта з тим, щоб намітити шляхи удосконалення керування технологічними процесами в ньому.

Викладення матеріалу та результати. В односпіральному класифікаторі практично не передбачене тонке розділення твердого за крупністю. В той же час у односпіральному класифікаторі виокремлюють зони, показані на рис.1 – прошарок постелі 1, накопичення осівших пісків 2, часток твердого, зважених дією механізму 3, та зони пульсацій, що рухається до зливного порога і створює горизонтальний потік 4 [6]. Імовірність попадання часток твердого в той чи інший шар з горизонтального турбулентного потоку визначається їх швидкістю відносно рідкого середовища. Більш крупні та/або щільні частки в нижній шар потоку попадають з більшою імовірністю [7]. Крім того, розрізняють перемішування пульпи в трьох наступних зонах (рис.1): зона А, що характеризується малою глибиною й інтенсивним перемішуванням пульпи; зона В – зона класифікації зерен при незначній інтенсивності перемішування; зона С з висхідними потоками [8]. В односпіральних класифікаторах також відмічаються великі запізнювання [9]. Раніше [10] вони приводилися більш конкретно. Час запізнювання зв'язку густина зливу – піски не перебільшує 1...2 хв., крупність руди – піски досягає 20...25 хв., а при більших циркулюючих навантаженнях – 35...40 хв. Перехідні процеси відрізняються значною тривалістю. Перехідний процес при зміні густини пульпи і подачі прирощення кількості води, що подається в класифікатор, триває більше години [11].

Продуктивність односпірального класифікатора і крупність розділення (рис.2) визначаються в основному площею дзеркала пульпи в технологічному агрегаті та швидкістю осідання часток твердого максимальної крупності, що направляються у злив. Швидкість осідання часток твердого залежить від густини пульпи в зоні класифікації. Чим гущіша пульпа, тим більша її в'язкість і тим менша швидкість осідання часток даного розміру. Тому густина зливу класифікатора, зв'язана з густиною пульпи в зоні класифікації, слугує головним фактором для оперативного регулювання роботи цих агрегатів [6]. Зміною подачі води в класифікатор можливо регулювати густину пульпи в злив. У звичайних умовах роботи варіюванням подачі води у ванну класифікатора можливо змінювати і крупність твердого в злив. Однак при сильному розрідженні зливу добавка води може викликати зворотний ефект – укрупнення твердого в наслідок зростання несучої швидкості потоку. На результати класифікації, крім того, впливають характеристики руди, особливо вміст глиняних компонентів, які збільшують в'язкість пульпи і зменшують швидкість осідання часток твердого. На цей процес також позначається змучувальна дія механізму класифікатора та температура пульпи, яка може змінюватись у достатньо широких межах як в наслідок сезонних особливостей, так і нагрівання пульпи в кульових млинах при подрібненні руди. Відповідно даним фабрики «Сілвер Белл» (штат Арізона), при проходженні через кульовий млин пульпа отримує 8091,8 ккал теплоти за хвилину, а приріст температури коливається від 3,7 до 5,6 °С. Встановлено, що у випадку більш твердої руди і збільшення циркулюючого навантаження, величина приростання температури пульпи дещо зменшується [10].

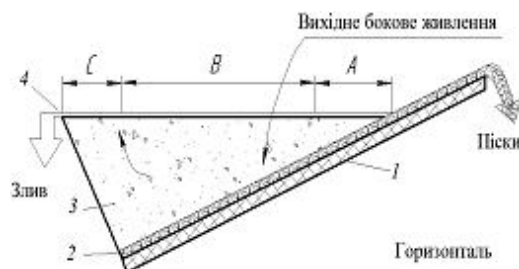


Рис.1. Характерні зони механічного односпірального класифікатора: А – зона інтенсивного перемішування; В – зона класифікації; С – зона висхідних потоків; 1 – постіль класифікатора; 2 – піски; 3 – зависло-рухомі у воді частки твердого; 4 – шар з найбільш дрібними фракціями твердого

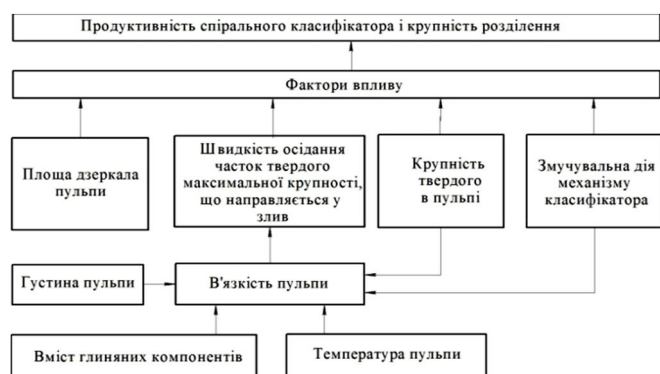


Рис.2. Структурні зв'язки між параметрами пульпи в процесі класифікації

На рис.2 прослідковується складність зв'язків між параметрами пульпи в процесі класифікації і можлива непередбачуваність результату при подачі додаткової води у ванну класифікатора.

У класифікаторі вхідний продукт розділяється на два – готовий продукт у зливі і піски (рис.3). Головними факторами, що впливають на готовий продукт є крупність зливу, вміст тонкодисперсних фракцій, густина вихідного матеріалу і тип руди або суміші руд. Головними факторами, які визначають циркулююче навантаження, є продуктивність за живленням, крупність, твердість руди та вміст твердого у зливі класифікатора.



Рис.3. Структура факторів впливу при розділенні вхідного продукту на готовий і піски в механічному односпіральному класифікаторі

Як видно з рис.3, зв'язки між факторами впливу складні. Залежність між циркулюючим навантаженням і густиною зливу класифікатора виражена дуже різко: зміна на 1% вмісту твердого в зливні змінює піськове навантаження на 12...18% [10]. Зафіксовані й інші дані. Експериментально встановлено, що зміна густини зливу класифікатора на 1%

викликає зміну кількості циркулюючих пісків до 30% [11]. З розглянутого видно, що керування розділенням за крупністю в механічному односпіральному класифікаторі є достатньо складною задачею. На це вказує і ряд авторів [12]. Традиційно регулюють густину пульпи у зливні класифікатора подачею води у його ванну [13]. Стабілізація циркулюючого навантаження має додатковий технологічний зміст. Відомо [14], що оптимальні умови подрібнення в кульових млинах забезпечуються при циркуляційному навантаженні, яке дорівнює відношенню середньої крупності вихідної руди і пісків. Однак спосіб стабілізації крупності в зливні шляхом регулювання циркулюючого навантаження відрізняється низькою чутливістю щодо густини пульпи в цій технологічній точці. Тому певний ефект в цьому може бути досягнутий лише за умов стійкої характеристики продуктів подрібнення відносно крупності [13]. Регулювання подачі води в класифікатор відносно густини пульпи у зливні має деякий зміст – дещо покращує злив [15]. Однак регулювання кількості води, що подається у класифікатор, не може стабілізувати замкнений цикл млин-класифікатор, оскільки управління здійснюється з великим транспортним запізнюванням, а зміна гранулометричного складу пульпи на вході носить стохастичний характер [9]. Крім цього треба враховувати, що при магнітному збагаченні руд зі змінною крупністю вкраплень магнетиту регулювання густини зливу є неефективним, оскільки не забезпечує оптимізацію крупності подрібнення руди [16]. Для покращення роботи односпіральних класифікаторів рекомендують два керуючих впливи, наприклад, стабілізацію додатковою водою та незалежне перемішування, однак це вступає в протиріччя, оскільки в таких технологічних агрегатах на початку здійснюється вибір інтенсивності перемішування та висоти порога [16]. Враховуючи це, ще в 1964 році пропонують вводити деякі прості зміни в конструкцію механічних спіральних класифікаторів [15], однак тривалий час така робота не здійснюється. Лише в останні роки зроблені спроби таких удосконалень. Наприклад, в Гірничому віснику Узбекистану №2 за 2013 рік сказано наступне: «Підвищення продуктивності і якості роботи спіральних класифікаторів досягається простим і діючим способом, перевіреним багаторічною практикою, – борти класифікатора нарощуються, розпочинаючи зі зливної течки на 2/3 довжини, на висоту 250...300 мм, а зливні пороги нарощуються на 150...200 мм. Результатом стає збільшення робочого об'єму класифікатора, заспокоєння пульпи в зоні розвантаження і відповідно покращення процесу та результатів класифікації [17]. Ще один приклад. Кращі показники подрібнення і класифікації досягнуті при збільшенні висоти зливного порога класифікатора на 250 мм. Масова частка класу крупності менше 0,045 мм у зливні класифікатора підвищувалася з 46,7% при базовому варіанті до 51,9% при висоті порога, збільшеній на 250 мм. Ефективність класифікації односпірального класифікатора при цьому зросла з 43,54% до 51,21%. Питома продуктивність рудного млина відповідно класу крупності менше 0,045 мм збільшилась з 0,66 т/м³·г при базовому рівні порога до 0,76 т/м³·г при збільшеній на 250 мм висоті порога. Вміст шламів, які не піддаються флотації, крупністю до 0,010 мм в зливні класифікатора знизився з 18,16% до 14,07%. Витрата електроенергії рудного млина на 1 т готового продукту

зменшилася з 28,5 до 24,7 кВт/г [18]. Як видно, знайдені навіпамацки підходи дають вагомі результати. Ще однією вагомою задачею, яка потребує розв'язання, стало попадання крупних зерен у злив односпірального класифікатора. Це можливо при збільшенні частоти обертання спіралі, коли інтенсифікується перемішування пульпи і в злив потрапляє більш крупний матеріал [19]. Крім того, турбулентність рудної пульпи, що створюється рухомою спіраллю, приводить до скаламучування осілих на дно корпусу часток і підвищення швидкості потоку зливу в центральній і правій частинах зливного порога класифікатора. У зв'язку з цим некондиційні за крупністю і масовою часткою заліза мінеральні зерна – піски потрапляють у злив, знижуючи ефективність класифікації [20]. Крім цього ефект укрупнення часток твердого у злив класифікатора може виникнути при сильному розрідженні зливу в наслідок збільшення несучої швидкості потоку [11]. Прийом позбавлення укрупнення зливу односпірального класифікатора також знайдено навіпамацки каскадним збільшенням висоти окремих зон зливного порога. При цьому збільшилися циркуляційне навантаження від 231,8 до 265,5%, питома продуктивність млина за класом крупності менше 0,071 мм від 1,61 до 1,73 т/м³·г; ефективність класифікації від 35,5% до 54,8% [20]. Знову отримані відчутні результати. Як видно, технологічне регулювання односпіральним класифікатором в ручному режимі є достатньо складною задачею і має порівняно невисокі показники навіть у випадку досвідчених операторів. Тому паралельно проводились роботи з розробки автоматичних засобів керування. Визначалися передаточні функції односпірального класифікатора. Передатна функція спільного класифікатора як відношення зображення за Лапласом зміни густини зливу до зображення за Лапласом зміни витрати води в його ванну дорівнює [21]

$$W(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1} - \frac{k_2}{T_2 p + 1}, \quad (1)$$

де k_1, k_2 – коефіцієнти передачі; T_1, T_2 – сталі часу.

Перехідний процес відповідно густині зливу визначається співвідношеннями k_1 і k_2 , а також T_1 і T_2 . Оскільки, очевидно, що $T_1 < T_2$, то спочатку густина зростає при збільшенні витрати води і лише потім спадає завдяки тому, що $k_2 > k_1$.

Передатна функція класифікатора в каналі «витрата води в класифікатор – об'ємна витрата зливу» має наступне значення [22]

$$W(p) = \frac{1}{T_{кл} p + 1}, \quad (2)$$

де $T_{кл}$ – стала часу класифікатора в цьому каналі, що залежить від гідравлічних властивостей керованого об'єкта.

Встановлено [22, 23], що механічний односпіральний класифікатор є нелінійним керованим об'єктом, однак до нього використовувалися лінійні підходи і принцип керування за відхиленням, не дивлячись на великі запізнювання та сталі часу. Системи автоматичного керування механічним односпіральним класифікатором створювалися на базі датчиків крупності зливу, однак, враховуючи тісний кореляційний зв'язок гранулометричного складу і густини, замість датчиків крупності використовували засоби контролю густини [13]. Враховуючи недосконалість таких систем керування, отримували низьку якість відділення готового продукту від крупного та низьку ефективність класифікації.

Такий стан справ склався в наслідок незадовільності теорії класифікації в механічних односпіральних класифікаторах. Відома теорія механічних класифікаторів, запропонована на початку 60-х років минулого століття Олевським В.А., занадто проста. Відповідно їй розділення часток твердого за крупністю пояснюється різною швидкістю їх падіння в пульпі. Дрібні частки твердого не встигають випасти нижче рівня зливу і виносяться течією, а крупні випадають на дно. В роботі [24] також вказується, що розділення матеріалу вздовж вертикалі ванни класифікатора відбувається не в однакових умовах. Верхня частина пульпи більш розріджена, а в її нижній частині відбувається масове стиснене осадження мінеральних зерен. Тому теорія розділення зерен відповідно швидкості вільного падіння не може повністю пояснити процес класифікації. За цілим рядом причин ця теорія виявляється зовсім незадовільною [15]. Висновки, які слідують з неї часто вступають у протиріччя з експериментальними даними. Наприклад, згідно теорії розділення часток твердого за крупністю повинно бути різким, в той час як фактично воно є розмитим. Відповідно теорії повинна зростати крупність у злив при збільшенні швидкості течії, на практиці цей зв'язок виявляється зворотним та ін. [15]. Зроблена спроба [23] розро-

бки структурної схеми односпірального класифікатора, але вона в наслідок недосконалості не дає позитивних результатів і потребує доопрацювання. Зважаючи на це, необхідно переглянути основні теоретичні передумови теорії механічних односпіральних класифікаторів. Необхідно більше уваги приділити динамічній рівновазі між перемішуванням і гравітаційним випадінням часток твердого. Оскільки перемішування є суттєвим фактором, що викликає зменшення згідно експериментальним даним крупності зливу при зменшенні густини, в теорію для отримання якісних і кількісних характеристик процесу класифікації необхідно ввести даний розділ. Враховуючи, що в практиці збагачення руд здійснюється вибір інтенсивності перемішування і висоти зливного порога при налагодженні роботи класифікатора, необхідно передбачити можливість певних змін в конструкції односпірального класифікатора. Варто звернути увагу і на зміну принципів керування механічним односпіральним класифікатором з тим, щоб підвищити якість функціонування технологічного агрегату, який працює за складних умов зміни гідравлічних характеристик і з великими запізненнями та сталими часу.

Висновки та напрямок подальших досліджень. В результаті проведення системного аналізу роботи односпірального класифікатора як керованого об'єкта встановлено структурні зв'язки між параметрами пульпи в процесі класифікації та структура факторів впливу при розділенні вхідного продукту, які показують надзвичайну складність цих процесів і неможливість спрощеної теорії, що запропонована на початку 60-х років минулого століття Олевським В.А., дати відповіді на питання практики, що виникають.

Наукова новизна виконаної роботи полягає в тому, що запропоновано шляхи удосконалення теорії класифікації продуктів в односпіральних класифікаторах, а саме: перегляд основних теоретичних передумов теорії механічних односпіральних класифікаторів; описання динамічної рівноваги між перемішуванням і гравітаційним випадінням часток твердого; розвиток теоретичного обґрунтування теорії перемішування пульпи; обґрунтування параметрів налагодження односпірального класифікатора; розроблення більш ефективного принципу керування механічним односпіральним класифікатором.

Практична цінність роботи полягає в тому, що запропоновано конкретні шляхи удосконалення теорії механічних односпіральних класифікаторів, що дозволить суттєво покращити ефективність в межах першої стадії подрібнення руди.

Перспективою подальших розробок є створення певних теоретичних положень та удосконалення систем керування механічним односпіральним класифікатором.

Список літератури

1. **Моркун В.С.** Формирование робастного автоматизированного управления замкнутым циклом измельчения на основе Ню-нормы / **В.С. Моркун, Н.В. Моркун, В.В. Тронь** // Гірничий вісник. – 2014. – Вип. 98. – С.83-85.
2. Ультразвуковой контроль характеристик измельченных материалов в АСУ ТП обогащительного производства / **В.С. Моркун, В.Н. Потапов, Н.В. Моркун, Н.С. Подгородецкий**. – Кривой Рог: Изд. центр КТУ, 2007. – 283 с.
3. **Купін А.І.** Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології / **А.І. Купін** – Кривий Ріг: Видавництво КТУ, 2008. – 204с.
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. **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.
6. **Зверевич В.В.** Основы обогащения полезных ископаемых / **Зверевич В.В., Перов В.А.** М.: Недра, 1971. – 216 с.
7. **Пилов П.И.** Гравитационная сепарация полезных ископаемых / **П.И. Пилов** Днепропетровск: Нац. горн. ун-т, 2003. – 123 с.
8. **Смирнов В.О.** Гравітаційні процеси збагачення корисних копалин / **В.О. Смирнов** Донецьк: ДонНТУ, 2008. – 129 с.
9. Автоматизация управления обогащательными фабриками: Изд.2, перераб. и доп. / **Кошарский Б.Д., Ситковский А.Я., Красномовец А.В. и др.** – М.: Недра, 1977. – 527 с.
10. **Кошарский Б.Д.** Автоматизация обогащательных фабрик / **Б.Д. Кошарский, Г.Н. Рабинович, А.В. Красномовец, А.Я. Ситковский**. – М.: Недра, 1966. – 412 с.
11. **Бойбутаев С.Б.** Система управления процессом измельчения руды / **С.Б. Бойбутаев** // Современные материалы. Техника и технологии, 2016. – №5 (8). – С.20-27.
12. **Маляров П.В.** Основы интенсификации процессов рудоподготовки / **П.В. Маляров**. – Ростов-на-Дону: ООО «Ростиздат», 2004. – 320 с.
13. 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.

14. **Марюта А.Н.** Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнитно-обогащительных фабриках / **А.Н. Марюта** // – М.: Недра, 1975. – 303 с.
15. **Гринман И.Г.** Автоматизация процессов обогащения руд цветных металлов / **И.Г. Гринман**. – Алма-Ата: Изд. Акад. наук Казахской ССР, 1964. – 218 с.
16. **Убай Юсеф Саламах Аль Мададха.** Система автоматической оптимизации крупности помола руды в замкнутом цикле измельчения / **Убай Юсеф Саламах Аль Мададха** // Гірнич електромеханіка та автоматика. – Дніпропетровськ: НГУ, 2008. – №81. – С.120-124.
17. **Воробьев А.Е.** Повышение эффективности работы отделения дробления и измельчения золотоизвлекательной фабрики / **Воробьев А.Е., Аникин А.В.** // Geotexnologia / Геотехнология. Горный вестник Узбекистана, 2013. – №2(53). – С.39-43.
18. **Габец С.В.** Повышение эффективности спирального классификатора и применение автоматизированных гидроциклонных установок на норильских обогащительных фабриках / **Габец С.В., Асламов А.А., Габец В.С.** // Вестник АГТА, 2009. (Том 3). – №1. – С.22-23.
19. **Верхотуров М.В.** Гравитационные методы обогащения / **М.В. Верхотуров** М.: МАКС Пресс, 2006. – 352 с.
20. **Сметанин В.А.** Способ повышения эффективности гидравлической классификации в спиральных классификаторах ДООФ-5 РОФ ОАО ММК / **В.А. Сметанин, А.В. Путятю, В.В. Иващенко, В.П. Лобанова** // Сталь, 2015. – №7. – С.10-11.
21. **Козин В.З.** Автоматизация производственных процессов на обогащительных фабриках / **Козин В.З., Троп А.Е., Комаров А.Я.** – М.: Недра, 1980. – 336 с.
22. **Троп А.Е.** Автоматическое управление технологическими процессами обогащительных фабрик / **Троп А.Е., Козин В.З., Прокофьев Е.В.** – М.: Недра, 1986. – 303 с.
23. **Гринман И.Г.** Контроль и регулирование гранулометрического состава продуктов измельчения / **Гринман И.Г., Блях Г.И.** – Алма-Ата: Наука, Казахской ССР, 1967. – 115 с.
24. **Фоменко Т.Г.** Гравитационные процессы обогащения полезных ископаемых / **Т.Г. Фоменко**. – М.: Недра, 1966. – 332 с.

Рукопис подано до редакції 19.03.2019

УДК 331.452

Т. М. ТАІРОВА, канд. хім. наук, ст. наук. співроб.,

ДУ «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці», м. Київ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ОХОРОНА ПРАЦІ ВУГІЛЬНОЇ ГАЛУЗІ

Мета. Підвищення результативності функціонування СУОП та її підсистеми – системи охорона праці у вугільній галузі.

Методи дослідження. У статті використано метод системного аналізу для аналізу СУОП і її підсистеми - системи охорона праці та метод математичного моделювання.

Наукова новизна. Вперше побудована математична модель системи охорона праці вугільної галузі, яка на відміну від відомих кількісно оцінює кожну підсистему охорони праці: економічну, правову, технічну, організаційну та санітарно-гігієнічну, що дозволяє визначати результативність функціонування як кожної підсистеми, так і системи охорона праці в цілому, і розробляти науково обґрунтовані заходи, спрямовані як на стабілізацію системи, так і на підвищення результативності її функціонування.

Практична значимість. Розроблено оцінчні показники для кожної підсистеми охорона праці для вугільної галузі, побудовано математичні моделі системи охорони праці, що враховують дії або бездіяльність основних учасників трудового процесу – працівника і роботодавця. Визначено чинники, що викликають порушують режимів функціонування системи охорони праці, а також ті чинники, що дозволяють стабілізувати систему і підвищити результативність її функціонування. Кількісно оцінено ризик настання нещасних випадків на підприємствах вугільної галузі через дію або бездіяльність працівника і роботодавця. Запропоновано заходи підвищення результативності СУОП, засновані на результатах математичного моделювання системи охорони праці та оцінки впливу на результативність її функціонування факторів зовнішнього і внутрішнього середовища. Отримані результати дають можливість уніфікувати і регламентувати порядок розробки науково обґрунтованих управлінських рішень, спрямованих на підвищення результативності функціонування системи охорони праці та відповідно СУОП вугільної галузі.

Результати. Запропоновано метод оцінки технічної, організаційної та санітарно-гігієнічної підсистем системи охорона праці, який дозволяє на основі статистичних даних про виробничий травматизм у вугільній галузі та причин його виникнення кількісно оцінювати дії або бездіяльність осіб, які допустили порушення нормативних актів з охорони праці, використовувати отримані дані для побудови математичної моделі системи охорона праці та розробляти відповідні заходи, спрямовані на підвищення її результативності.

Ключові слова: система охорони праці, фактори зовнішнього і внутрішнього середовища, математична модель, виробничий травматизм, ризик.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-13-18

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Вугільна галузь є однією з найбільш травмонебезпечних галузей України, а за кількістю смертельних випадків, що припадають на тонну видобутого вугілля, займає лідируючу позицію серед країн світу. Вугільна промисловість України характеризується найстарішим шахтним фондом – кожна третя шахта експлуатується понад 30 років без реконструкції, більш ніж 50 % обладнання та устаткування для видобутку вугілля повністю зношені. Середня глибина розробки перевищує 720 м. Щороку у вуглевидобувній галузі стається до 40 % усіх нещасних випадків в країні та до 23 % – із смертельним наслідком. Основною причиною таких випадків є обрушення, обвалення породи та дія рухомих і таких, що обертаються, деталей, обладнання, машин і механізмів. Проблема захисту працюючих від впливу небезпечних і шкідливих чинників у вугільній галузі, зниження рівня виробничого травматизму хоча і має велику кількість теоретичних та практичних напрацювань, проте залишається актуальною і потребує подальшого їх розвитку. Узагальнення наукових досліджень з питань охорони праці свідчить про неефективність системи управління охороною праці на всіх рівнях, відсутність в країні методології комплексного і системного підходу до вивчення проблемних питань з охорони праці (ОП) з метою розроблення заходів, спрямованих на запобігання виробничому травматизму. Роботодавці не дотримуються вимог ст. 13 Закону України «Про охорону праці» щодо створення на кожному робочому місці належних умов праці відповідно до нормативно-правових актів та забезпечення додержання вимог законодавства відносно прав працівників. Пріоритетним завданням залишається розроблення заходів, спрямованих на підвищення результативності функціонування системи охорони праці.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання розроблення інструментарію прийняття управлінських рішень, підходів до оцінювання результативності СУОП та підвищення рівня державного управління з охорони праці, поліпшення функціонування системного менеджменту з охорони праці на підприємствах країни, стану нормативно-правового забезпечення знайшли відображення у роботах Г. Г. Гогіташвілі [1], Г. Г. Лесенка [2]. Першими науковими розробками, спрямованими на визначення закономірностей опосередкованого впливу чинників зовнішнього середовища на ризик травмування, зокрема, таких як соціально-економічні та правові, для трансформування отриманих оцінок в ефективні профілактичні заходи, стали роботи А. О. Водяника [3], Г. Г. Дегтяренка [4] та інш. А. О. Водяником було розроблено методологію аналізу причин та чинників, що впливають на ризик травмування, яка полягала у комплексному врахуванні та кількісному оцінюванні впливу на рівень травматизму характеристик виробництва, соціальних чинників, стану забезпеченості потреб охорони праці ресурсами, а також безпосередніх технічних і організаційних причин травматизму. Питання оцінювання чинників зовнішнього середовища, зокрема впливу наглядової діяльності з охорони праці на рівень виробничого травматизму, знайшли відображення у наукових публікаціях А. С. Єсипенка [5, 6], О. Є. Кружилка [7, 8], В. В. Майстренка [9], в яких автори визначали підходи до вирішення проблеми запобігання виробничому травматизму, акцентуючи увагу на необхідності підвищення ефективності наглядової діяльності шляхом удосконалення інформаційно-методичного забезпечення державного нагляду у сфері охорони праці та застосування математичного моделювання показників виробничого травматизму для отримання прогнозних оцінок його рівня та прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Проте реальні можливості підготовки, прийняття та реалізації управлінських рішень, спрямованих на запобігання виробничому травматизму, як на рівні підприємства, так і галузі, можуть бути реалізовані тільки при системному підході до дослідження системи управління охороною праці та комплексному і об'єктивному аналізі чинників зовнішнього і внутрішнього середовища, що впливають на результативність функціонування її підсистем, зокрема системи ОП.

У контексті зазначеного актуальною науковою задачею є підвищення результативності функціонування системи охорони праці, як підсистеми СУОП у вугільній галузі, результати якого мають бути покладено в основу розроблення наукових засад запобігання виробничому травматизму.

Постановка завдання. Метою цієї роботи є розроблення математичної моделі системи ОП для вугільної галузі, оцінювання результативності її функціонування та формування науково обґрунтованих заходів запобігання виробничому травматизму.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання:

визначити показники оцінювання кожної підсистеми системи охорона праці для вугільної галузі, враховуючи наявну кількісну інформацію про зовнішні та внутрішні чинники;

виявити закономірності впливу цих чинників на результативність функціонування системи охорона праці;

побудувати математичну модель системи ОП, яка встановлює аналітичні залежності функціонування цієї системи від показників, що характеризують чинники зовнішнього і внутрішнього середовища;

сформувати науково обґрунтовані заходи запобігання виробничому травматизму у вугільній галузі.

Викладення основного матеріалу дослідження. Одним із методів, який дозволяє комплексно дослідити систему управління ОП та її підсистеми, є системний підхід. Про використання системного підходу при вирішенні проблем в охороні праці відмічалось ще у Конвенції № 155 та в Керівництві з управління системами охорони праці (МОП-СУОП 2001), в яких наголошувалось на необхідності використання системного підходу до створення і розвитку на підприємствах системи управління ОП [10]. Виходячи вищевикладеного, опис системи охорона праці вугільної галузі, який формується за допомогою системного аналізу, передбачає визначення множини вхідних і вихідних змінних системи, що забезпечує досягнення мети дослідження, а також встановлення границь системи із зазначенням її зовнішнього середовища та критеріїв.

Представлення системи охорона праці – об'єкта досліджень, у вигляді математичної моделі дозволяє комплексно оцінювати результативність її функціонування з урахуванням взаємного впливу всіх її підсистем, тобто визначати вплив соціально-економічних і правових чинників на результативність її функціонування та відобразити їх зв'язок з технічною, організаційною та санітарно-гігієнічною підсистемами системи ОП. Отримані результати дозволяють визначитись з напрямом розвитку системи охорона праці на певному рівні управління та вибрати оптимальний варіант стратегії із припустимої множини управлінських рішень.

Підвищення результативності функціонування системи управління охороною праці та розроблення заходів, спрямованих на запобігання виробничому травматизму, неможливо без розроблення та побудови математичної моделі системи ОП (керованої системи) як підсистеми СУОП, яка дозволяє комплексно дослідити властивості системи ОП, осмислити існуючу ситуацію з охорони праці на певному рівні управління, провести експерименти шляхом зміни значень її складових із подальшою інтерпретацією результатів стосовно модельованої системи, прогнозувати її стани на майбутній період і розробляти науково обґрунтовані заходи правового, соціально-економічного, організаційно-технічного, санітарно-гігієнічного характеру. За критерій вибору найкращого варіанта зазвичай приймаються найнижчі значення показників виробничого травматизму, за якими оцінюється результативність функціонування системи ОП.

Для побудови математичної моделі системи ОП із множини показників, що характеризують кожну підсистему системи ОП вибрано найбільш впливові або узагальнені. Виділення найбільш впливових показників наглядової діяльності з охорони праці проведено методом кореляційно-регресійного аналізу шляхом визначення тісноти і направленості зв'язку між кожним показником наглядової діяльності з охорони праці та показником виробничого травматизму у вугільній галузі.

За результатами зазначеного аналізу виокремлено найбільш впливові показники наглядової діяльності з охорони праці, для яких коефіцієнти парної кореляції мали найбільше значення та від'ємний знак. Такими показниками наглядової діяльності з охорони праці для вугільної галузі є середній розмір штрафу, накладений на посадову особу, та середній розмір штрафу, накладений на працівника (рис. 1, 2). Проте рівень впливу зазначених показників на рівень виробничого травматизму дуже низький.

Аналіз наведених графіків свідчить про те, що при зменшенні розміру штрафних санкцій, накладених як на посадову особу, так і на працівника, відмічається збільшення кількості порушень вимог нормативних актів з охорони праці у вугільній галузі. Для кількісного оцінювання внутрішнього середовища системи ОП, тобто технічної, організаційної та санітарно-гігієнічної підсистем, використано розроблену автором систему «роботодавець-працівник-робоче місце» (РПР) та методику оцінювання кожної з її підсистем [11].

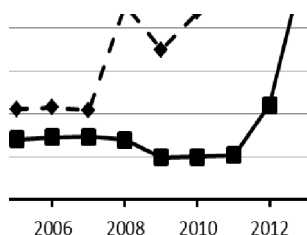


Рис. 1. Динаміка змін середнього розміру штрафних санкцій, накладених на посадову особу, та кількість порушень роботодавцем НПАОП

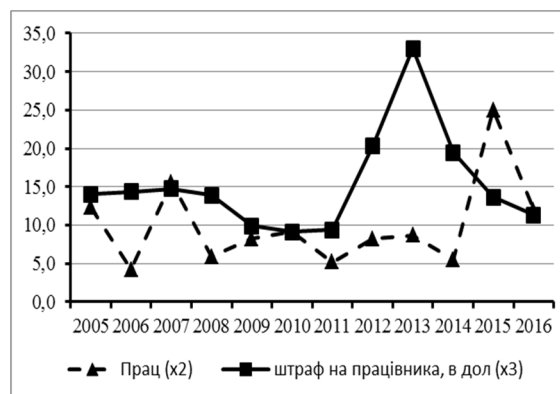


Рис. 2. Динаміка змін середнього розміру штрафних санкцій, накладених на працівника, та кількість порушень ним НПАОП

За результатами кількісного оцінювання системи «роботодавець-працівник-робоче місце» визначено показники, що оцінюють рівень порушення роботодавцем (або працівником) нормативних актів з охорони праці та визначено, що ризик настання нещасних випадків у вугільній галузі на робочому місці становить $1,7 \cdot 10^{-3}$, через недотримання роботодавцем нормативних актів з охорони праці (організаційного характеру) – $6,3 \cdot 10^{-5}$, а ризик настання нещасних випадків через недотримання працівником нормативних актів з охорони праці $2,3 \cdot 10^{-4}$.

Для вирішення проблемних питань у функціонуванні підсистем системи охорона праці та з метою підвищення результативності системи ОП і відповідно СУОП, зниження рівня виробничого травматизму у вугільній галузі побудовано математичні моделі системи ОП для кожного учасника трудового процесу (роботодавець, працівник), які включають змістовний опис функціонування кожної підсистеми та їх взаємозв'язок. Зазначене дозволяє перетворити математичну модель системи ОП у відповідний моделюючий алгоритм з оцінювання результативності її функціонування з урахуванням результативності функціонування кожної з її підсистем.

Математична модель системи ОП в узагальненому вигляді представлена рівнянням (1):

$$Y = m_0 + m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + m_4 x_1 x_2 + m_5 x_3 x_2 + m_6 x_1 x_3 + w, \quad (1)$$

де x_1 – множина вхідних змінних, тобто множина показників, за якими оцінюється стан соціально-економічного розвитку галузі (індекс виробленої продукції); $x_{2(R)}$ – множина показників, за якими оцінюється організаційна, технічна та санітарно-гігієнічна підсистеми (у випадку оцінювання дій або бездіяльності роботодавця) системи ОП; $x_{2(P)}$ – множина показників, за якими оцінюється організаційна підсистема (у випадку оцінювання дій або бездіяльності працівника) системи ОП; x_3 – множина вхідних змінних, за якими оцінюється стан державного управління з охорони праці (наглядова діяльність з охорони праці); Y – множина вихідних змінних, за якими оцінюється стан та результативність функціонування системи ОП (показник виробничого травматизму).

Для побудови математичної моделі системи ОП (працівник) визначено коефіцієнти $m_1 - m_6$, що описують вплив економічного, організаційного та правового чинників на швидкість змін виробничого травматизму у вугільній галузі. Для їх визначення було побудовано відповідні рівняння, що оцінюють зазначений вплив (2–13).

Коефіцієнти ($m_1 - m_6$) для побудови математичної моделі системи охорона праці (працівник) для вугільної галузі визначали за такими рівняннями:

$$m_1 = \frac{dY}{dx_1} - \text{вплив економічного показника на швидкість змін виробничого травматизму} \quad (2)$$

$$y = -0,0050x^2 + 1,0495x_1 - 38,8277, \quad R^2 = 0,2868, \quad (2)$$

$$m_1 = -0,0100x_1 + 1,0495; \quad (3)$$

$$m_2 = \frac{dY}{dx_2} - \text{вплив організаційного показника на швидкість змін виробничого травматизму}$$

(4, 5):

$$y = -0,0689 x_2^2 + 1,7942 x_2 + 5,58946, \quad R^2 = 0,26597, \quad (4)$$

$$m_2 = -0,1378x_2 + 1,7942; \quad (5)$$

$m_3 = \frac{dY}{dx_3}$ – вплив правового показника на швидкість змін виробничого травматизму (6, 7);

$$y = -0,0122 x_3^2 + 0,2880 x_3 + 13,47409, R^2 = 0,08094, \quad (6)$$

$$m_3 = 0,0244 x_3 + 0,2880; \quad (7)$$

$m_4 = \frac{dY}{dx_4}$ – вплив економічного, організаційного показника на швидкість змін виробничого травматизму (8), (9):

$$m_1(x_2) = -0,0001 x_2^2 + 0,017 x_2 - 0,1301; R^2 = 0,19487; \quad (8)$$

$$m_4 = m_1(x_2) = -0,0002 x_2 - 0,0,017; \quad (9)$$

$m_5 = \frac{dY}{dx_5}$ – вплив правового, технічного, організаційного та санітарно-гігієнічного показника на швидкість змін виробничого травматизму визначали за формулами (10, 11):

$$m_2(x_3) = -0,00015 x_3 - 0,00316 x_3 - 0,06015; R^2 = 0,05936 \quad (10)$$

$$m_5 = m_2(x_3) = -0,0003 x_3 - 0,00316; \quad (11)$$

$m_6 = \frac{dY}{dx_6}$ – вплив правового та економічного показників на швидкість змін виробничого травматизму – визначали за формулами (12, 13):

$$m_3(x_1) y = -0,00031 x_1^2 + 0,0537 x_1 - 2,2524, R^2 = 0,12044; \quad (12)$$

$$m_6 = m_3(x_1) = -0,0006 x_1 + 0,0553. \quad (13)$$

З урахуванням математичного опису кожної підсистеми системи охорона праці та виявлених закономірностей впливу чинників зовнішнього і внутрішнього середовища на показник виробничого травматизму побудовано математичну модель системи охорона праці (працівник) для вугільної галузі, яка має вигляд (14) та математичну модель система ОП (роботодавець) (15):

$$Y_p = 29,21 + 0,0157 x_1^2 - 1,4218 x_1 + 0,0952 x_2^2 - 1,4317 x_2 + 0,0050 x_3^2 - 0,2917 x_3 - 0,0023 x_2^2 x_1 - 0,0173 x_2 x_1 + 0,0032 x_3^2 x_2 - 0,0574 x_3 x_2 + 0,0002 x_1^2 x_3 - 0,0174 x_1 x_3. \quad (14)$$

Коефіцієнти ($m_1 - m_6$) для математичної моделі системи ОП (роботодавець) визначено аналогічно алгоритму їх визначення для працівника (рівняння 2-13):

$$Y_R = 29,21 + 0,0157 x_1^2 - 1,4218 x_1 - 0,0512 x_2^2 + 1,8832 x_2 - 0,0006 x_3^2 - 0,0533 x_3 + 0,0036 x_2^2 x_1 - 0,1239 x_2 x_1 - 0,0004 x_3^2 x_2 - 0,0023 x_3 x_2 + 0,00002 x_1^2 x_3 - 0,0010 x_1 x_3, \quad (15)$$

де Y_p – показник, що характеризує результативність функціонування системи охорона праці з урахуванням дій або бездіяльності працівника; Y_R – показник, що характеризує результативність функціонування системи охорона праці з урахуванням дій або бездіяльності роботодавця.

Управління системою охорона праці у вугільній галузі є результативним, якщо забезпечується найнижчий рівень виробничого травматизму. У разі, якщо реєструється зростання рівня виробничого травматизму, має бути прийнято управлінське рішення, спрямоване на підвищення результативності функціонування системи ОП, яке з огляду на прийняту умову та залежно від результатів моделювання, має бути спрямовано на підвищення рівня дотримання працівником або роботодавцем нормативних актів з охорони праці. Коригування розміру штрафних санкцій на працівника або на роботодавця здійснюється у тих межах, в яких система функціонує.

Висновки та напрям подальших досліджень. У процесі математичного моделювання системи охорона праці розроблено оціночні показники для кожної підсистеми, побудовано математичну модель системи ОП для кожного учасника трудового процесу, отримано аналітичні залежності для оцінювання результативності функціонування системи ОП та рівня впливу чинників внутрішнього та зовнішнього середовища на результативність функціонування системи ОП вугільної галузі. Отримані результати є достовірними, оскільки використано аналітичні методи та офіційні статистичні дані.

Список літератури

1. Гогіташвілі Г. Г. Системи управління охороною праці. Л. : Афіша. 2002. – 320 с.
2. Лесенко Г. Г. Розробка та впровадження СУОП на підприємстві. Охорона праці. 2003 – №6 – 36–38.

3. **Водяник А. О.** Дослідження впливу на причини виробничого травматизму факторів зовнішнього середовища / **Водяник А. О., Ткачук К. Н.** // Містобудування та територіальне планування. 2005 – Вип. 20 – 50–58.
4. **Дегтяренко Г. Є.** Динаміка травматизму в Україні в умовах змінювання обсягів виробництва / **Г. Є. Дегтяренко, А. О. Водяник, В. В. Чуркін, К. Е. Теличко** // Проблеми охорони праці в Україні : зб. наук. праць. – Київ : ННДІОП, 2001. – Вип. 4. С. 24–29.
5. **Єсіпенко А. С. Таїрова Т. М., Сліпачук О. А.** Оцінка стану і проблеми промислової безпеки та охорони праці в ризиконебезпечних галузях економіки України. Серія «Вугледобувна галузь». К. : 2014. 64 с.
6. **Єсіпенко А. С.** Дослідження характеру впливу наглядової діяльності за охороною праці на стан виробничої безпеки / **Єсіпенко А. С., Романенко Н. В., Сліпачук О. А.** // Проблеми охорони праці в Україні : зб. наук. праць. Київ : ННДІОП, 2008. – Вип. 15.– С. 9–17.
7. **Кружилко О. Є.** Аналітичне оцінювання взаємного впливу показників наглядової діяльності та показників смертельного травматизму // Проблеми охорони праці в Україні: зб. наук. праць. Київ.: ННДІПБОП, – 30-37.– 2009.
8. **Кружилко О. Є.** Побудова та дослідження математичної моделі коефіцієнта тяжкості виробничого травматизму на підприємствах вугільної промисловості / **Кружилко О. Є., Ткачук К. Н., Полукаров** // Проблеми охорони праці в Україні :зб. наук. праць. – Київ : ДУ «ННДІПБОП», 2012. – Вип. 22. – С. 27–31.
9. **Майстренко В. В.** Особливості створення інформаційно-аналітичної системи та аналізу наглядової діяльності на основі матеріалів перевірок / **Майстренко В. В., Кружилко О. Є.** Проблеми охорони праці в Україні: зб. наук. праць. К.: ДУ «ННДІПБОП», 2013. – Вип. 25.– С. 59–66.
10. **МОП-СУОП 2001.** Керівництво з систем управління охороною праці. Режим доступу : <http://text.normativ.ua/doc/2745.php>.
11. **Таїрова Т.М., Ткачук К.Н.** Математичне моделювання системи охорона праці. Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. Кривий Ріг, 2018. Вип. 46. С. 25–31.

Рукопис подано до редакції 21.03.2019

УДК 622.245.42

В. М. ОРЛОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц.

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова,

В. С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., **А. М. ПОХИЛКО**, аспірант

НТУ «Харківський політехнічний інститут»

ТЕРМОСТІЙКІ ПОЛЕГШЕНІ ТАМПОНАЖНІ СУМІШІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗОЛИ-ВИНОСУ ТЕС

Мета. Підвищення якості цементування обсадних колон у високотемпературних нафтових і газових свердловинах в широкому діапазоні пластових тисків від аномально низьких (АНПТ) до нормальних гідростатичних пластових тисків.

Задачею досліджень є розробка термостійких полегшених тампонажних сумішей для застосування в складних гірничо-геологічних умовах нафтових, газових і газоконденсатних родовищ України.

Методи і апаратура. Лабораторні дослідження, вимірювання густини тампонажного розчину ареометром, визначення текучості на крузі, визначення відділення води на мірних циліндрах автоклав, випробовування зразків на міцність (на згин і на стискання).

Результати. Мета досягається шляхом розробки та застосування термостійких полегшених тампонажних сумішей з високими технологічними властивостями на основі двох видів в'язучих: тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 та золи високо-кальцієвої від спалювання прибалтійських горючих сланців на ТЕС. В якості пуцоланової домішки в термостійких тампонажних сумішах використано кислу золу-виносу від спалювання кам'яного вугілля на ТЕС. В частині полегшених рецептур з підвищеним водо-сумішевим відношенням додатково використано стабілізатор Duoviz.

Наукова цінність розробки полягає в проведеному підборі оптимальних рецептур термостійких полегшених тампонажних сумішей.

Практичне значення. Розроблено і досліджено термостійкі тампонажні суміші з полегшеною та нормальною густиною на основі різних типів в'язучих матеріалів з використанням пуцоланової домішки – золи-виносу теплових електростанцій. Мінімальна густина тампонажних розчинів на основі розроблених сумішей складає відповідно 1580 – 1650 та 1500 – 1790 кг/м³. Розроблені тампонажні суміші володіють високими технологічними властивостями тампонажного розчину та утвореного каменя. Результати роботи мають практичне застосування при цементуванні нафтових і газових свердловин в складних гірничо-геологічних умовах вуглеводневих родовищ України.

Ключові слова: полегшений тампонажний матеріал, тампонажна суміш, густина, розтікання тампонажного розчину, відділення води, міцність каменя, термостійкість, зола виносу ТЕС, цементування обсадних колон, нафтові і газові свердловини.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-18-23

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Задачі забезпечення нафтогазової галузі якісними термостійкими тампонажними матеріалами з широким діапазоном густин завжди приділялась велика увага. Тому дослідження в цьому напрямку проводяться і в даний час.

На сьогодні для якісного розмежування пластів у нафтових і газових свердловинах застосовують переважно тампонажні цементи, в яких основним в'язучим матеріалом є портландцемент. Залежно від хіміко-мінералогічного складу, тампонажні портландцементи розділяють на класи для різних температурних умов експлуатації від 15 до 150 °C і вищих.

Проведені дослідження [1, 2] показали, що при застосуванні портландцементів в геотермальних умовах глибоких свердловин виникають проблеми довговічності тампонажного каменю. Висока активність портландцементу є причиною температурної нестабільності тампонажного каменю, що викликає деструктивні процеси, зокрема утворення гідросилікату $C_2SH(A)$, внаслідок чого поступово знижується міцність і підвищується проникність, навіть у термостійких цементів. Такі процеси в цементному камені внаслідок тривалої дії високих температур можуть сприяти формуванню шляхів газонафтоводопроводів (ГНВП).

Дослідник С.І. Гамзатов [3] вважає, що граничним діапазоном температури при якому можна використовувати тампонажні портландцементи для помірних температур 363-368 К. Мачинський Є.К. та інші [4] стверджують, що тампонажний портландцемент відповідає своєму призначенню до температури близько 358 К, тобто до глибини 2500-3000 м. За даними досліджень В.М. Кравцова, Ю.С. Кузнецова, М.Р. Мавлютова та ін. [1] при температурі 348 К уже через 28 діб твердіння тампонажного портландцементу міцність каменю починає знижуватись.

З огляду на вище сказане, стає актуальною задача розробки термостійких тампонажних матеріалів з широким діапазоном густин, з високими технологічними властивостями на основі низькоактивних композицій з метою підвищення якості розмежування гірських порід і нафтогазоносних горизонтів у глибоких нафтових і газових свердловинах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вперше термостійкий тампонажний цемент одержали при змішуванні тампонажного портландцементу з тонкомеленим кварцовим піском [2]. Такі суміші одержали широке застосування завдяки універсальності домішки піску, який добре поєднується з різними типами цементів і практично не впливає на інші властивості тампонажного розчину.

Сьогодні відомо ряд малоактивних кальцієвмісних компонентів, які присутні у відходах металургійної, енергетичної, гірничорудної і хімічної промисловості (шлаки, шлами, огарки, золи, пил, горілі породи та ін.). Цементи на основі таких матеріалів найбільш економічні і термостійкі [5]. Для тампонажних матеріалів широке застосування серед техногенних матеріалів знайшли доменні шлаки. За хімічним складом вони близькі до складу портландцементного клінкера і відрізняються, як правило, меншим вмістом оксиду кальцію. Доменні шлаки, залежно від коефіцієнта якості і хімічного складу, поділяються на три сорти. Коефіцієнт якості враховується при оцінці їх гідралітичних властивостей. При підвищених температурах процеси гідролізу і гідратації доменних шлаків значно інтенсифікуються і вони стають достатньо активними в'язучими матеріалами [6]. Враховуючи ці властивості доменних шлаків, на їх основі розроблені шлакові та піщано-шлакові цементи для високотемпературних (до 473 К) свердловин [6].

Фізико-механічні властивості цементів на основі доменних шлаків залежать від хіміко-мінералогічного складу вихідного шлаку та способу його охолодження. Для температур 373-473 К використовують шлаки з коефіцієнтом якості не меншим 1,65, для температур 473-573 К – не меншим 1,45. При пластових температурах, нижчих за 373 К, для активації шлаків додають тампонажний портландцемент [7]. Одним з недоліків тампонажних розчинів на основі доменних шлаків, що обмежує їх використання, є велика густина (1800-2000 кг/м³) через що зменшується висота підйому тампонажного розчину в глибоких свердловинах, які цементуються в один ступінь.

Для свердловин з низькими, нормальними і помірними температурами використовують тампонажний шлакопортландцемент з домішкою електротермофосфорного шлаку [8].

Для цементування свердловин в температурному інтервалі 393-473 К застосовуються тампонажні композиції в процесі твердіння яких задіяні фізико-хімічні процеси взаємодії в системах $CaO - SiO_2 - H_2O$; $\beta = C_2S - CaO - H_2O$ [1]. До цієї групи належать вапняно-піщані, нефеліново-піщані (беліто-кремнеземисті) в'язучі матеріали та ін. [1, 2].

У виробництві тампонажних матеріалів також використовуються золи-виносу електростанцій [9]. Дослідником Б.В. Крихом доведено можливість використання тампонажних матеріалів з використанням зол-виносу ТЕС в термічному інтервалі 323-473 К [10].

На сьогодні найбільше досліджені можливості використання зол горючих сланців, кам'яного і бурого вугілля. Їх застосування розвивається в трьох основних напрямках: використання зол в якості сировинного компоненту при одержанні клінкеру [11], використання в якості активної мінеральної домішки до цементів [11], у виробництві будівельних деталей при автоклавній обробці з використанням в'язучих властивостей золи [12,13].

Залежно від хімічного складу і фазового стану пиловидні золи розділені на три групи [12]:

В працях [12] установлені напрямки процесів твердіння в'язучих на основі висококальцієвих торф'яних і сланцевих зол при їх автоклавній обробці з тиском 0,8-1,6 МПа.

У праці [13] встановлено, що при гідратації в'язучого на основі пиловидної золи в газобетоні утворюються α -гідрат C_2SH і низькоосновні волокнисті гідросилікати. При домішці глинисто-золотого і глинистого аглопориту у співвідношенні 1:1 утворюється тоберморитова фаза.

Також досліджено, що при гідротермальних реакціях з участю золи-виносу утворюються гідрогранати, які різко знижують концентрацію вапна [9].

Дослідження в'язучих на основі низькокальцієвих пиловидних зол [12] показали, що вони характеризуються зниженою гідравлічною активністю, але при активізації вапном і гіпсом на їх основі можна одержати в'язучі при пропарюванні або в умовах автоклавного твердіння. При автоклавній обробці парою в температурному інтервалі 448-473 К і вище, суміші вапна і зол енергійно взаємодіють між собою з утворенням гідрогранатів середнього складу $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot (0,5-0,7)SiO_2 \cdot (5-4,6)H_2O$, а також гідросилікатів кальцію.

Огляд доповідей, зокрема, VII Міжнародного конгресу з хімії цементів свідчить, що використання зол сприяє підвищенню міцності бетонів, особливо у пізні терміни їх твердіння [14]. Також встановлено, що мінералогічний і гранулометричний склади зол впливають на міцність, довговічність і сульфатостійкість цементного каменю [15].

Мета. Підвищення якості цементування обсадних колон у високотемпературних нафтових і газових свердловинах в широкому діапазоні пластових тисків від аномально низьких (АНПТ) до нормальних гідростатичних пластових тисків. Мета досягається шляхом розробки та застосування термостійких полегшених тампонажних сумішей з високими технологічними властивостями на основі двох видів в'язучих: тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 та золи висококальцієвої від спалювання Прибалтійських горючих сланців на ТЕС. В якості пуцоланової домішки в термостійких тампонажних сумішах використано кислу золу-виносу від спалювання кам'яного вугілля на ТЕС. В частині полегшених рецептур з підвищеним водосумішевим відношенням (В/С) додатково використано стабілізатор Duoviz.

Постановка задачі. Задачею досліджень є розробка термостійких полегшених тампонажних сумішей для застосування в складних гірничо-геологічних умовах нафтових, газових і газоконденсатних родовищ України.

Виклад основного матеріалу і результати. Колективом дослідників на лабораторній базі Полтавського відділення УкрДГРІ проведено дослідження та розроблено термостійкі полегшені тампонажні суміші з високими технологічними властивостями. Як в'язучі матеріали в рецептурах тампонажних сумішей використано тампонажний портландцемент ПЦТІ-100 та золу висококальцієву від спалювання Прибалтійських горючих сланців. Як активну кремнеземисту (пуцоланову) та полегшувальну домішку використано кислу золу-винос Курахівської ДРЕС.

Для використання в якості тампонажних матеріалів найбільш придатні пиловидні золи, що не потребують додаткових технологічних затрат, зокрема розмелювання. Тому при розробці термостійких тампонажних сумішей в якості одного з в'язучих матеріалів брали золу висококальцієву (ЗВ) від спалювання горючих сланців, багату на оксид кальцію, а як пуцоланову (кремнеземисту) домішку брали золу кислу (ЗК) від спалювання кам'яного вугілля.

Як відомо, активна мінеральна (кремнеземиста) домішка підвищує стійкість цементів до руйнівної дії прісних і сульфатних вод, які наявні в розрізі нафтових і газових свердловин. Летючі золи включають значні кількості діоксиду кремнію (SiO_2) (як аморфного, так і кристалічного), оксиду алюмінію (Al_2O_3) і оксиду кальцію (CaO).

Золи горючих сланців поставляють у вигляді суміші двох різновидів: циклонної й електрофільтрової (табл. 1), де частка електрофільтрової золи в два рази більша від циклонної.

Таблиця 1

Хімічний склад золи висококальцієвої ТЕС Прибалтійських горючих сланців

Різновиди золи	Хімічний склад, мас. частка %									
	CaO (CaO _B)	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	CO ₂	п.п.п.
Циклонна	42,2 (11,3)	4,6	26,9	6,3	4,8	2,6	0,2	4,8	6,2	1,1
Електрофільтрова	31,7 (6,6)	4,4	30,4	7,9	4,4	4,4	0,2	7,4	7,6	1,1
Змішана	35,2 (8,2)	4,5	29,2	7,4	4,5	3,8	0,2	6,5	7,1	1,1

Відомо, що важливою характеристикою пуцоланових домішок, які впливають на величину міцності та корозійну стійкість цементного каменю, є їх активність. Установлено, що більшу корозійну стійкість має цементний камінь, до складу якого входить пуцоланова домішка найбільшої активності.

Хімічний склад кислої золи-виносу Курахівської ДРЕС та її активність наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Хімічний склад кислої золи-виносу Курахівської ДРЕС та її активність

Хімічний склад, мас. частка %									Активність, мг СаО/г
CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	п.п.п.	
2,2–2,8	2,0–3,0	50,0–52,0	15,0–24,0	17,0–22,0	1,5–3,0	0,2–0,4	0,4–0,8	3,4–3,7	32,84

У результаті досліджень технологічних властивостей розроблених тампонажних сумішей (табл. 3–5) встановлено наступні закономірності:

на основі сумішей тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 з кислою золою-виносу, наприклад Курахівської ДРЕС, можна одержати термостійкі тампонажні композиції з полегшеною і нормальною густиною розчину, високою термостійкістю та високими експлуатаційними властивостями одержаного каменю;

рецептури з підвищеним водосумішєвим відношенням (В/С) для підвищення стабільності розчину вміщують реагент-стабілізатор «Duoviz»: вони мають низький діапазон густин 1460–1530 кг/м³, високу термостійкість і задовільні інші технологічні властивості одержаного каменю;

на основі сумішей золи висококальцієвої Прибалтійських горючих сланців з кислою золою-виносу, наприклад Курахівської ДРЕС, можна одержати термостійкі тампонажні композиції з полегшеною густиною розчину, високою термостійкістю та високими експлуатаційними властивостями одержаного каменю.

Таблиця 3

Технологічні властивості термостійких полегшених тампонажних сумішей на основі тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 і кислої золи-виносу (ЗК) Курахівської ДРЕС

Склад тампонажної суміші, мас. частка, %		В/С	Густина, кг/м ³	Розтічність, м	Водовідділення, мл	Міцність при вигині/стискуванні, МПа			
						Умови тужавіння: час тужавіння 2 доби			
						температура, тиск			
ПЦТІ-100	ЗК					75 °С, 30,0 МПа	100 °С, 40,0 МПа	140 °С, 50,0 МПа	160 °С, 60,0 МПа
70	30	0,5	1735	0,20	–	6,4/22,0	5,5/13,6	5,0/12,0	4,4/8,3
60	40	0,53	1670	0,21	0	5,9/7,6	5,5/15,0	5,1/15,3	6,0/17,0
50	50	0,53	1635	0,20	0	6,0/18,3	6,0/18,1	5,6/26,0	6,2/18,7
40	60	0,60	1570	0,21	2,5	3,8/13,7	6,3/11,3	–	8,0/13,8
30	70	0,60	1520	0,21	–	2,3/2,9	5,3/10,2	–	6,7/10,7
20	80	0,65	1490	0,21	–	1,6/2,4	3,7/7,9	–	3,4/7,0

Таблиця 4

Технологічні властивості термостійких полегшених тампонажних сумішей на основі тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 і кислої золи-виносу (ЗК) Курахівської ДРЕС з великим водосумішєвим відношенням

Склад тампонажної суміші, мас. част., %			В/С	Густина, кг/м ³	Розтічність, м	Водовідділення, мл	Міцність при вигині, МПа			
							Умови тужавіння: тривалість тужавіння 2 доби			
							температура, тиск			
ПЦТІ-100	ЗК	«Duoviz», % (від маси сухої суміші)					50 °С, 20,0 МПа	75 °С, 30,0 МПа	100 °С, 40,0 МПа	140 °С, 70,0 МПа
60	40	0,11	0,97	1460	0,19	6,0	0,8	1,0	1,8	–
60	40	0,09	0,90	1490	0,19	6,0	0,9	1,1	2,0	–
50	50	0,05	0,80	1495	0,20	3,0	1,2	1,5	3,5	3,7
50	50	0,04	0,70	1530	0,21	3,0	1,5	2,5	5,1	6,5

Таблиця 5

Технологічні властивості тампонажних сумішей на основі золи висококальцієвої Прибалтійських горючих сланців (ЗВ) і кислій золи-виносу (ЗК) Курахівської ДРЕС

Склад тампонажної суміші, мас. частка, %		В/С	Густина, кг/м ³	Роз- тічність, м	Водо- відділення, мл	Міцність при вигині/стискуванні, МПа		
						Умови тужавіння: тривалість тужавіння 2 доби		
						температура, тиск		
ЗВ	ЗК					75 °С, 30,0 МПа	100 °С, 40,0 МПа	120 °С, 50,0 МПа
70	30	0,55	1620	0,20	10,5	6,5/13,9	6,2/13,7	6,2/13,7
50	50	0,55	1570	0,22	12,0	5,1/10,5	3,9/12,2	3,9/12,2
30	70	0,55	1540	0,19	6,0	3,9/10,1	3,4/6,8	3,4/6,8

Терміни загущення термостійких тампонажних розчинів легко регулюються за допомогою стандартних сповільнювачів (НТФК, ВКК, декстрин тощо).

Термічний інтервал застосування розроблених рецептур становить 160-180 °С, залежно від вмісту в'язучої основи.

Висновки. Розроблено термостійкі полегшені тампонажні суміші з високими експлуатаційними властивостями густиною 1460 кг/м³ - 1530, 1490 кг/м³ - 1735 та 1540 - 1620 кг/м³ на основі в'язучих: тампонажного портландцементу ПЦІ-100 та золи висококальцієвої від спалювання на ТЕС Прибалтійських горючих сланців. Як активну кремнеземисту (пуцоланову) та полегшувальну домішку використано кислотну золу-винос Курахівської ДРЕС.

Встановлено, що термостійкі полегшені суміші відповідають існуючим ДСТУ відносно вимог до полегшених тампонажних цементів.

Термічний інтервал застосування термостійких полегшених тампонажних сумішей - 75°С÷180 °С.

Наукова цінність розробки полягає в проведеному підборі оптимальних рецептур термостійких полегшених тампонажних сумішей.

Розглянута розробка дає змогу забезпечити нафтогазову галузь недорогими термостійкими полегшеними тампонажними матеріалами з високими експлуатаційними властивостями, що має практичну цінність.

Висока термостійкість розроблених тампонажних сумішей та великий діапазон густин полегшеного і нормального тампонажного розчину, при забезпеченні високої якості інших технологічних властивостей розроблених композицій, є важливими факторами при розмежуванні нафтогазоносних горизонтів на геологорозвідувальних площах і промислових родовищах у разі цементування високотемпературних і високопроникних пластів та свердловин з аномально низькими пластовими тисками, а також при піднятті тампонажного розчину на велику висоту в один прийом.

Напрямки подальших досліджень. У подальших дослідженнях доцільно розглянути питання моделювання термостійких полегшених тампонажних сумішей, наприклад методом симплекс-центроїдного планування з отриманням математичних моделей-поліномів типу «склад-властивість».

Список літератури

1. Крепление высокотемпературных скважин в коррозионно-активных средах / [В.М. Кравцов, Ю.С. Кузнецов, М.Р. Мавлютов и др.]. – М.: Недра, 1987. – 192 с.
2. Даношевский В.С. Проектирование оптимальных составов тампонажных цементов / Даношевский В.С. – М.: Недра, 1978. – 293 с.
3. Гамзатов С.И. Применение вяжущих веществ в нефтяных и газовых скважинах / Гамзатов С.И. – М.: Недра, 1985. – 148 с.
4. Мачинский Е.К. Многокомпонентные смеси для цементирования скважин / Е.К. Мачинский // Бурение скважин и разработка нефтяных месторождений: (сб. научн. трудов ГрозНИИ). – 1960. – № 6. – С. 113 – 121.
5. Горський В.Ф. Тампонажні матеріали і розчини / Горський В.Ф. – Чернівці: 2006. – 524 с.
6. Булатов А.И. Цементирование глубоких скважин / Булатов А.И. – М.: Недра, 1964. – 297 с.
7. Орловський В.М. Тампонажні матеріали, що розширюються при твердінні. Монографія/ В.М. Орловський. – Полтава: ПолтНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2015. – 129 с.
8. Криулин В.Н. Использование отвального электротермофосфорного шлака / В.Н. Криулин, Т.А. Федулова // Цемент. – 1987. – № 1. – С. 18.

9. Михайленко С.Г. Оптимизация процессов цементирования скважин / С.Г. Михайленко, А.С. Серяков, В.Н. Орловский [и др.] // Техника и технология геологоразведочных работ, организация производства: О.И. – М.: ВИЭМС. – 1988. – 26 с.
10. Крых Б.В. Повышение термостойкости тампонажных портландцементов добавками золы-уноса / Б.В. Крых // Термо- и солеустойчивые промывочные жидкости и тампонажные растворы: тезисы докладов первой украинской научно-техн. конференции. – К.: Наукова думка, 1970. – Часть 1. – 168 с.
11. Применение топливных зол отходов ТЭС КАТЕКА в производстве в'язучих / Киселев А.В., Аллилуева Е.И., Гальперина Т.Я. [и др.] // Цемент. – 1988. – № 11. – С. 21 – 22.
12. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов / [А.В. Волженский, Ю.С. Буров, Б.Н. Виноградов и др.]. – М.: Стройиздат, 1969. – 392 с.
13. Иванов И.А. Легкие бетоны на основе зол электростанций / Иванов И.А. – М.: Изд. лит. по строительству, 1972. – 128 с.
14. Calejja Jose. Entorno a las cenizas volutasen los cementas en lashormigones, a la luz de un trabajopresenta doen el 7 Congreso Internacional de la guimica de ios cementas / Jose Calejja // Chem-hormigon, 1982. – № 582. – P. 53.
15. Ковач Р. Процессы гидратации и долговечность зольных цементов / Р. Ковач // Шестой Международный конгресс по химии цемента: (сб. научн. трудов). – М.: Стройиздат, 1976. – Т. 3. – С. 99 – 103.

Рукопис подано до редакції 15.03.2019

УДК: 008.5

А.И. РЫБАК, д-р техн. наук, проф., Г.П. БАЛДУК, препод.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

И.Б. АЗАРОВА, канд.техн.наук, доц.

Одесский региональный институт государственного управления Национальной академии государственного управления при Президенте Украины

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Цель. Стремительный рост большинства городов во всем мире сопровождается рядом проблем, решение которых возможно на основе проектного подхода. Для этого необходима четкая идентификация проблемного уровня городской системы, чего существующие методы не предусматривают. Поэтому целью исследования является создание модели комплексной оценки качества городской среды с позиции жителя города, выполняемой по каждому из планировочных уровней городской среды.

Методы. Методологической основой исследования являются методы квалиметрической оценки, экспертных оценок, ранжирования, эталонного сравнения.

Научная новизна. Согласно предложенной модели, оценки качества городской среды выполняется с точки зрения жителя города последовательно на каждом из планировочных уровней городской среды - от индивидуального пространства городского жителя, до уровня микрорайона, района и города в целом, что отличает ее от существующих моделей.

Практическая значимость. Разработанная модель позволяет выявлять уровень планировочной структуры города, где имеются проблемы, связанные с недостаточным качеством городской среды. Для решения таких проблем городскими властями могут инициироваться соответствующие проекты развития городских территорий, направленные на повышение качества городского окружения. Предложенная модель также позволяет оценить качество конечного результата подобных градостроительных проектов в рамках предпроектного анализа и выбрать проекты, обеспечивающие максимальное качество городской среды.

Результаты. Предложенная в ходе исследования модель оценки качества городской среды позволяет увидеть комплексную картину восприятия городской среды с точки зрения жителя города. Полученный комплексный показатель определяет качество городской среды на каждом из планировочных уровней, а также указывает конкретный уровень планировочной структуры города, где имеются проблемы и необходимы меры по их устранению, в том числе – с использованием проектного подхода.

Ключевые слова: качество городской среды; оценка качества; управление качеством проектов; управление проектами развития городских территорий; планировочная структура города; градостроительство

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-23-31

Постановка проблемы. На сегодня уже более половины населения (55%) проживает в городах. Согласно прогнозам ученых, темпы урбанизации в современном мире приведут к тому, что к 2050 г. доля городского населения вырастет до 75%. При этом уже сейчас практически повсеместно рост городов сопровождается определенными проблемами их развития - от недо-

статка обслуживающей инфраструктуры и транспортных проблем, до нехватки свободных участков под застройку и необходимости сохранения культурного наследия.

Одним из основных механизмов решения вопросов, связанных с развитием городов, традиционно является проектный подход. Именно с помощью проектов городские власти направляют ресурсы и привлекают общественность для решения глобальных или локальных проблем городского развития. Характерной особенностью таких проектов будет их сложность и многовекторность, а также комплексная ценность результатов проекта, имеющая коммерческое и социальное измерение. Основной целью проектов развития городов выступает создание качественной городской среды с целью обеспечения их устойчивого развития. Именно поэтому, при инициации проектов развития городов, особое внимание должно уделяться оценке качества городской среды обитания [1].

Широко используемый в области оценки качества городской среды индикативный подход [2, 3] позволяет работать с измеримыми квалитетическими показателями, но он затрудняет субъективные оценки так называемых «мягких» параметров качества – эстетики, удобства, комфорта и т.д. Кроме того, использование обособленных показателей в различных сферах жизни города не дает комплексной картины восприятия городской среды с точки зрения человека как «конечного пользователя» городской среды обитания. Полученная при помощи некоторых существующих методов комплексная оценка качества городской среды в виде какого-то условного числа не позволяет соотнести данный результат с конкретной проблемой или городской структурой.

Именно поэтому поиск эффективных моделей и методов оценки качества городского окружения во всем мире сейчас является актуальной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. Концептуальные основы проблемы оценки качества городской среды и отдельных ее элементов содержатся в работах Г. Азгальдова, Ю. Божко, С. Букара, И. Ильиной [4], Б. Калмановой, О. Карий [5], С. Лесниченко, Г. Литошенко, Б. Мержанова, В. Николаенко, И. Огородник [6], М. Омеляненко, Д. Платонова, А. Полянского, М. Посохина, Б. Рубаненко, Ю. Репина, А. Тица, И. Шевченко, В. Этенко, Ю. Ярлова и др. Отдельными аспектами качества городской среды, такими, как оценка ее эпидемиологического состояния, занимался О. Лапшин [7]. Вопросам учета и рационального использования земельных ресурсов городов были посвящены исследования Е. Хлиповки, и А. Паламар [8]. Разработкой методов регионального экологического мониторинга занималась Н. Андрейшина [9].

Вопросами качества городской среды и ее оценки занимались и ведущие зарубежные ученые. Так, исследования Я. Гейла фокусируются в основном на вопросах человеческого восприятия города, не уделяя достаточно внимания инженерным или экономическим аспектам качества городской среды. Другие исследователи уделяют внимание только экологическим и энергосберегающим характеристикам городской среды [10], или оценивают исключительно качество жилья в контексте городской застройки, как А. Финогенов [11] или Р. Аракелян.

Другие известные методики, такие как CITYkeys [12], к примеру, рассматривают индикаторы развития городских территорий комплексно, но исключительно в рамках концепции низко углеродных, ресурсо-эффективных смарт-городов, что ограничивает применение данной методики для оценки других городов, где эта концепция пока не используется.

В России для обеспечения принятия эффективных решений в градостроительной и жилищной политике была законодательно утверждена методика оценки качества городской среды проживания [13]. На основании данной методики был определен генеральный рейтинг привлекательности российских городов, разработанный Российским союзом инженеров по заданию Минрегиона России.

Хотя в указанной методике не идет речь ни об устойчивом развитии, ни о смарт-городах, она также имеет некоторые ограничения в ее применении. Первое из них - рейтинг составлен для городов с численностью населения более 100 тыс. человек. Города с меньшей численностью не рассматривались. Город в данной методике рассмотрен как единое замкнутое однородное образование, оцениваемое как неделимое целое. Определить проблемные районы, требующие инициации проектов для их развития, при данном подходе не представляется возможным. Далее, исходя из экспертного опроса 50 респондентов, представляющих различные социальные круги и возрастные группы, важнейшей характеристикой при определении степени привлека-

тельности города и качества городской среды была выбрана фактическая динамика численности населения, наглядно показывающая истинные предпочтения людей и объективные факторы развития городов. Если вынести такой результат за рамки России, то на основании данных ООН о темпах роста городов мира в 2016 году [14], города Китая, Индии и Южной Америки будут куда привлекательнее, чем растущие более медленно города Европы, хотя с этим довольно трудно согласиться.

Выполненный анализ некоторых последних публикаций показал, что существующие методы оценки качества городской среды требуют доработки в области повышения их комплексности и универсальности, возможности объединения субъективных характеристик с позиции человека и объективных измеряемых параметров городской среды, а также возможности локализации «проблемных» уровней планировочной структуры городов.

Постановка цели исследования. Целью данного исследования является создание модели комплексной оценки качества городской среды с позиции человека, в ней проживающего. Согласно гипотезе данного исследования, для выявления «проблемных» элементов структуры города с точки зрения качества городской среды, оценку качества необходимо предусмотреть последовательно по каждому из планировочных уровней города - от индивидуального пространства городского жителя, до уровня микрорайона, района и города в целом.

Методы исследования. Теоретической и методологической основами исследования стали концепция устойчивого развития, теория системного анализа, законодательные и нормативные документы по вопросам градостроительства и стратегического планирования.

Основные методы исследования: системный, факторный, статистический, а также методы квалиметрической оценки, экспертных оценок, ранжирования, эталонного сравнения и другие общенаучные методы.

Формирование модели оценки качества городской среды. По мнению таких ведущих исследователей качества городской среды, как Ян Гейл, которое полностью разделяют авторы данного исследования, основной причиной дискомфорта восприятия человеком современных городов является игнорирование человеческого масштаба современной идеологией городского планирования.

Четкое функциональное зонирование территорий города разбивает его на обособленные промзоны, деловые и исторические центры и «спальные» районы, между которыми неизбежно возникают большие транспортные потоки. Не смотря на приоритетность решения созданных таким образом дорожных проблем перед любыми другими, города по всему миру испытывают дискомфорт от шума, загрязненности воздуха, нехватки свободного места для парковок, «пробок» и дорожно-транспортных происшествий.

«Точечная» застройка вырванными из контекста окружения отдельными зданиями, функционирующими исключительно внутри себя, не позволяет создать условия для удовлетворения потребностей человека в общих городских пространствах для общения и социализации, проведения времени на открытом воздухе, физической активности и отдыха. Все это приводит к тому, что современные города даже в масштабе мегаполисов становятся в прямом смысле слова безжизненными. Люди, сидя в транспорте, перемещаются на максимально возможной скорости от места работы до места сна, закрываются в своих жилых ячейках и испытывают дискомфорт от недостатка общения и последствий гиподинамии. И хотя многие индикаторы городской среды и ее технико-экономические показатели находятся в приемлемых с точки зрения нормативов пределах, говорить о качестве такого городского окружения с позиции человека достаточно сложно.

Поэтому в оценке качества городской среды необходимо сместить акценты от работы с удобными и легко измеряемыми абстрактными индикаторами на оценку удовлетворенности индивидуальных потребностей жителей городов. Для этого далее выявим параметры городской среды, которые позволят создавать более качественные с точки зрения человека городские пространства.

Прежде всего, для более детального анализа качества городской среды, выделим следующие уровни городского окружения по принципу его восприятия человеком: индивидуальное пространство, которое человек воспринимает как свою собственность и которое может быть представлено как пространством квартиры в жилом доме, так и пространством личного кабинета в офисе, номера в гостинице и т.п.; общественное пространство - здание, в пределах которо-

го человек покидает индивидуальное пространство и начинает взаимодействовать с другими людьми, оставаясь внутри сооружения; общественное пространство - квартал, где в пешеходной доступности находятся основные обслуживающие сервисы повседневного пользования, создается общее пространство для общения, отдыха, событий и т.п.; общественное пространство - район; общественное пространство - город.

Качество городской среды должно анализироваться на каждом из этих уровней отдельно, так как работа с качеством только на уровне отдельных зданий или микрорайонов не дает комплексной картины восприятия городской среды человеком и не позволяет правильно оценить отдельный элемент городской среды в контексте всего города. И наоборот – рассмотрение всего города как единого объекта качества приводит к тому, что становится невозможным объяснение наличия районов с «плохой» репутацией в составе вполне «благополучных» городов. Поэтому была сформирована следующая модель оценки качества городской среды по ее уровням, представленная на рис. 1.



Рис. 1. Модель оценки качества городской среды по ее уровням

Индивидуальное пространство воспринимается человеком всеми органами чувств и служит для удовлетворения базовых потребностей в безопасности, комфорте и уюте. Именно стены дома или квартиры защищают людей от вторжения посторонних, стены офиса, пусть даже

стеклянные, сохраняют при необходимости содержание разговоров. Качество конкретного индивидуального пространства определяется: уровнем гарантированной безопасности; размерами внутреннего пространства; уровнем функциональности; характеристиками физиологического комфорта; эргономичностью; эстетичностью.

Система комплексных показателей качества конкретного индивидуального городского пространства записывается в виде формулы (1)

$$I_{fact} = (I_{1fact}; I_{2fact}; \dots I_{Nfact}), \quad (1)$$

где N – порядковый номер показателя, для индивидуального пространства $1 \leq N \leq 6$; I_{1fact} – фактический уровень безопасности; I_{2fact} – фактические размеры индивидуального пространства; I_{3fact} – фактический уровень функциональности; I_{4fact} – фактический уровень комфорта; I_{5fact} – фактический уровень эргономичности; I_{6fact} – фактический уровень эстетичности;

Показатели, которые могут быть выражены в числовой форме, могут быть получены с помощью измерений. К примеру – это размеры индивидуального пространства, характеристики физического комфорта, такие как температура и влажность внутреннего воздуха, скорость его движения, освещенность и т.п. Для определения значений других субъективных показателей, таких как безопасность или эстетичность, могут привлекаться эксперты. В этом случае эталонные значения показателя могут быть приняты за единицу, а фактические значения того же показателя составлять доли от единицы.

Под безопасностью индивидуального пространства имеется ввиду как прочность, стойкость и долговечность конструкций здания, так и степень защищенности внутреннего пространства от постороннего проникновения, гигиеничность и безопасность для здоровья отделочных материалов, мебели, пожарная безопасность помещений, и т.д.

Далее следует сравнить фактическое значение каждого показателя качества с эталонным значением соответствующих показателей, записанным в виде формулы (2)

$$I_{et} = (I_{1et}; I_{2et}; \dots I_{Net}), \quad (2)$$

где I_{et} - система эталонных показателей качества индивидуального городского пространства.

Для определения эталонных показателей параметров качества на всех уровнях городского окружения следует также привлекать экспертов и выполнять оценку с учетом требований локальных законодательных и нормативных документов, культурных особенностей и менталите-

та. При этом последние аспекты не менее важны, чем требования законов, так как культура является главным фактором, определяющим отношение к некоторым показателям, например к эстетике или площади оптимального пространства.

В тех странах, где люди традиционно используют относительно небольшое личное пространство, толчея на улице и небольшие размеры жилищ воспринимаются комфортно. К ним относятся такие страны, как Италия, Испания, Франция, Россия, страны Ближнего Востока и Украина. В других культурах, например, в североευропейских странах, Германии, США люди, наоборот, максимально стремятся избегать близких дистанций или прикосновений и стремятся занять более значительные индивидуальные пространства.

Относительное отклонение фактического показателя от эталонного следует определять по формуле (3)

$$A_{iN} = \frac{(I_{Net} - I_{Nfact})100}{I_{Net}}, \quad (3)$$

Полученное отклонение фактического значения каждого показателя от эталонного следует рассматривать с учетом коэффициента весомости показателя K_{iN} , который определяется методом рангов. При определении рангов принимается, что $0 < K_{iN} < 1$, а также

$$\sum_{i=1}^N K_{iN} = 1, \quad (4)$$

В общем виде качество индивидуального пространства может быть определено по формуле (5)

$$Q_{ind} = \sum_{i=1}^N A_{iN} K_{iN}. \quad (5)$$

При переходе на следующий уровень восприятия городской среды человеком мы оцениваем качество общественного пространства - здания.

Система комплексных показателей качества общественного городского пространства здания записывается в виде формулы (6)

$$B_{fact} = (B_{1fact}; B_{2fact}; \dots B_{Nfact}), \quad (6)$$

где N – порядковый номер показателя, для общественного пространства здания $1 \leq N \leq 5$; B_{1fact} – фактический уровень безопасности; B_{2fact} – фактическая этажность; B_{3fact} – фактическая артикуляция нижних этажей; B_{4fact} – фактический уровень комфортности; B_{5fact} – фактический уровень функциональности;

Суть безопасности на уровне здания аналогична понятию безопасности индивидуального пространства. Параметр этажности здания влияет на восприятие масштабности данного здания человеком. Согласно исследованиям Я. Гейла, горизонтальный сенсорный аппарат человека позволяет хорошо взаимодействовать человеку с застройкой высотой 1-2 этажа. Приемлемая коммуникация достигается до уровня 4-5 этажа. Восприятие человеком застройки свыше 5 этажей полностью нарушается. Такой перепад высот представляет проблемы контакта с окружающей средой как для человека, находящегося на улице, так и для расположенного внутри.

Параметр качества, характеризующий артикуляцию нижних этажей, также раскрывается в исследованиях Я. Гейла. Согласно предложенной им классификации, эталонным значением данного параметра будет являться планировочное решение типа А (Активный) это – небольшие блоки фасадов с большим количеством входов в здания (15-20 дверей на 100 м фасада), отсутствие «глухих» и небольшое количество «пассивных» фасадов, большое разнообразие функций внутренних пространств, ярко выраженный рельеф фасада, преимущественно вертикальный декор и качественные детали и материалы. Для сравнения - тип Д (неактивный) имеет большие протяженные блоки фасадов, с минимальным количеством дверей (0-2 дверей на 100 м), однообразие внутренних функций зданий, глухие однообразные и «пассивные» фасады, отсутствие деталей и впечатлений для человека.

Параметры комфортности характеризуют внутреннюю среду здания (температуру, влажность, освещенность), колористическое решение, навигацию и удобство передвижения по зданию, планировочное решение и т.д.

Функциональность описывает набор предлагаемых зданием функций. При этом функции должны дополнять одна другую, а не являться взаимоисключающими, как например сочетание ночного клуба и жилого здания в одном сооружении.

Определение эталонных показателей качества здания осуществляется методами, аналогичными для индивидуального пространства.

Далее следует сравнить фактическое значение каждого показателя качества с эталонным значением соответствующих показателей, записанным в виде формулы (7)

$$B_{et} = (B_{1et}; B_{2et}; \dots B_{Net}), \quad (7)$$

где B_{et} - система эталонных показателей качества здания.

Отклонение каждого из фактических показателей от соответствующего эталонного следует определять по формуле (8)

$$A_{bN} = \frac{(B_{Net} - B_{Nfact})100}{B_{Net}}. \quad (8)$$

Полученное отклонение фактического значения каждого показателя от эталонного следует рассматривать с учетом коэффициента весомости показателя K_{bN} , который определяется методом рангов.

В общем виде качество общественного пространства здания может быть определено по формуле (9)

$$Q_{bld} = \sum_{i=1}^N A_{bN} K_{bN}, \quad (9)$$

где K_{bN} - коэффициент весомости показателя, который определяется методом рангов.

Далее переходим на уровень микрорайона. Данный уровень является минимальной планировочной единицей города согласно нормативной документации по планировке и застройке городов Украины [15].

Система комплексных показателей качества общественного городского микрорайона записывается в виде формулы (10)

$$M_{fact} = (M_{1fact}; M_{2fact}; \dots M_{Nfact}), \quad (10)$$

где N – порядковый номер показателя, для общественного пространства микрорайона $1 \leq N \leq 6$; M_{1fact} – фактический уровень безопасности; M_{2fact} – фактическая плотность застройки; M_{3fact} – фактическое время пешеходной доступности до объектов повседневного обслуживания; M_{4fact} – фактическое время пешеходной доступности до остановок общественного транспорта и мест хранения автомобилей; M_{5fact} – фактический уровень функциональности; M_{6fact} – фактический показатель наличия в радиусе пешеходной доступности общественных ландшафтных, рекреационных пространств.

Первый показатель безопасности включает кроме аналогичных понятий для низших планировочных уровней, также безопасность передвижения пешком и на велосипеде по территории микрорайона, защиту от преступности на улицах и т.п. Параметры пешеходной доступности к различным объектам на уровне микрорайона регулируются как действующей нормативной документацией [15], так оптимальными для жильцов микрорайона показателями.

Параметр функциональности характеризует размещение разных по функции сооружений и предприятий в границах района. Размещение таких предприятий должно учитывать соблюдение санитарно-защитных зон и противопожарных разрывов, а также оптимальное сочетание функций зданий и их соседства.

Система эталонных показателей качества микрорайона может быть записана в виде формулы (11)

$$M_{et} = (M_{1et}; M_{2et}; \dots M_{Net}). \quad (11)$$

Отклонение каждого фактического показателя от эталонного следует определять по формуле (12)

$$A_{mN} = \frac{(M_{Net} - M_{Nfact})100}{M_{Net}}. \quad (12)$$

В общем виде качество общественного пространства микрорайона может быть определено по формуле (13)

$$Q_{mkd} = \sum_{i=1}^N A_{mN} K_{mN}, \quad (13)$$

где K_{mN} - коэффициент весомости показателя, который определяется методом рангов.

Следующим планировочным уровнем города является район.

Система комплексных показателей качества общественного городского района записывается в виде формулы (14)

$$D_{fact} = (D_{1fact}; D_{2fact}; \dots D_{Nfact}), \quad (14)$$

где N – порядковый номер показателя, для общественного пространства района $1 \leq N \leq 6$; D_{1fact} – фактический уровень безопасности; D_{2fact} – фактическое время пешеходной доступности до

объектов периодического обслуживания; D_{3fact} – фактическое соотношение пешеходов, велосипедистов и других видов транспорта; D_{4fact} – фактический уровень комфорта; D_{5fact} – фактический уровень функциональности; D_{6fact} – фактический уровень благоустройства территории района.

Показатели уровня безопасности, комфорта и функциональности по их сути аналогичны этим же параметрам для уровня микрорайона, только рассматриваются уже в границах района города.

Перечень объектов периодического обслуживания и рекомендуемые максимальные радиусы обслуживания следует принимать согласно нормативной документации, а также с учетом ожиданий жителей конкретного района.

Параметр качества района города по соотношению пешеходов, велосипедистов и других видов транспорта, согласно исследованиям Я. Гейла, характеризует способность города заботиться о здоровье своих жителей, снижать уровень шума и загрязнения воздуха выхлопными газами, минимизировать проблемы автомобильных «пробок» и создавать дружественное человеку, а не машинам пространство.

Система эталонных показателей качества района может быть записана в виде формулы (15)

$$D_{et} = (D_{1et}; D_{2et}; \dots D_{Net}). \quad (15)$$

Отклонение каждого фактического показателя от эталонного следует определять по формуле (16)

$$A_{dN} = \frac{(D_{Net} - D_{Nfact})100}{D_{Net}}. \quad (16)$$

В общем виде качество общественного пространства района может быть определено по формуле (17)

$$Q_{dis} = \sum_{i=1}^N A_{dN} K_{dN}, \quad (17)$$

где K_{dN} – коэффициент весомости показателя, который определяется методом рангов.

Последним наивысшим планировочным уровнем для анализа качества городской среды является весь город в целом.

Система комплексных показателей качества города записывается в виде формулы (18)

$$C_{fact} = (C_{1fact}; C_{2fact}; \dots C_{Nfact}), \quad (18)$$

где N – порядковый номер показателя, для общественного пространства здания $1 \leq N \leq 5$; C_{1fact} – фактический уровень безопасности в городе; C_{2fact} – фактический показатель компактности городской застройки; C_{3fact} – фактическое соотношение пешеходов, велосипедистов и других видов транспорта; C_{4fact} – фактический уровень многофункциональности города; C_{5fact} – фактические природно-климатические условия города.

Показатели уровня безопасности, функциональности, соотношения пешеходов и транспорта, многофункциональность по их сути аналогичны этим же параметрам для уровня микрорайона, только рассматриваются для всей территории города.

Показатель компактности города влияет на удобство перемещения между его районами. Природно-климатические условия влияют на возможность для его жителей проводить время на открытом воздухе. Чем благоприятнее климат для человека – тем таких возможностей больше.

Система эталонных показателей качества города может быть записана в виде формулы (19)

$$C_{et} = (C_{1et}; C_{2et}; \dots C_{Net}). \quad (19)$$

Отклонение каждого фактического показателя от эталонного следует определять по формуле (20)

$$A_{cN} = \frac{(C_{Net} - C_{Nfact})100}{C_{Net}}. \quad (20)$$

В общем виде качество общественного пространства города может быть определено по формуле (21)

$$Q_{cit} = \sum_{i=1}^N A_{cN} K_{cN}, \quad (21)$$

где K_{cN} – коэффициент весомости каждого показателя.

После определения качества городской среды на каждом из планировочных уровней, комплексный показатель качества городской среды Q может быть представлен в виде формулы (22)

$$Q = (Q_{ind}; Q_{bld}; Q_{dis}; Q_{cit}). \quad (22)$$

Комплексный показатель качества городской среды будет представлен четырьмя значениями показателей качества, которые будут отражать уровень качества индивидуального пространства, здания, микрорайона, района и города с точки зрения человека, взаимодействующего с данной городской средой.

Показатель, имеющий максимальное значение, отражает уровень планировочной структуры города, где качество городской среды минимально соответствует необходимым требованиям. Решение проблем на этом уровне требует инициации городскими властями соответствующих проектов развития городских территорий, направленных на повышение качества городской среды.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Предложенная в ходе исследования модель оценки качества городской среды, осуществляемая по уровням планировочной структуры города, позволяет увидеть комплексную картину восприятия городской среды с точки зрения жителя города. Полученный комплексный показатель определяет качество городской среды на каждом из планировочных уровней, а также указывает конкретный уровень планировочной структуры города, где имеются проблемы и необходимы меры по их устранению, в том числе – с использованием проектного подхода.

В данной модели для каждого планировочного уровня города предложены соответствующие показатели качества. Но модель позволяет использовать и другие показатели качества городской среды, согласно индивидуальным особенностям населенного пункта. В частности, показатели качества для любого из планировочных уровней могут быть дополнены по результатам опросов экспертов. Предложенная модель также позволяет оценить качество конечного результата градостроительных проектов в рамках предпроектного анализа и выбрать проекты, обеспечивающие максимальное качество городской среды.

Направлением для дальнейших исследований может выступить практическое внедрение разработанной модели для анализа качества городского окружения конкретного населенного пункта с целью определения проблемных уровней городской среды.

Список литературы

1. Паламар А.Ю., Маяков Й.Д. Визначення зон по комфортності проживання в Криворізькому регіоні з урахуванням екологічного стану геологічного середовища для подальшого урахування при проведенні і визначенні нормативної оцінки земель / А.Ю. Паламар, Й.Д. Маяков // Вісник Криворізького національного університету. – 2014. – Вип. 36. – С. 284-287.
2. Turcu C. Re-thinking sustainability indicators: Local perspectives of urban sustainability. Journal of Environment Planning and Management, – 2013. – №56. – pp. 695–719.
3. Leach J.M., Lee S.E.; Hunt D.V., Rogers, C.D. Improving city-scale measures of livable sustainability: A study of urban measurement and assessment through application to the city of Birmingham, UK. Cities. – 2017. – №71. – pp. 80–87.
4. Ильина И.Н. Качество городской среды как фактор устойчивого развития муниципальных образований / И.Н. Ильина // Имущественные отношения в РФ. – 2015. – Вып. 5 (164). – С. 69-82.
5. Карий О. Комплексний розвиток міст: теорія та методологія стратегічного планування: монографія / О. Карий. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 308 с.
6. Огородник І., Огородник Т. Концепція управління якістю міського середовища великого міста / І. Огородник, Т. Огородник // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2014. – Вип. 800. – С. 45-51.
7. Лапшин О.Є., Черняєва Т.А., Вознікова О.А., Токар Т.Ю., Науменко С.В., Коток Л.І. Епідеміологічний нагляд за ентеровірусними інфекціями на сучасному етапі в місті Кривому Розі. – Вісник Криворізького національного університету. – 2017. – №44. – С. 68-72.
8. Хлиповка Є.Г., Паламар А.Ю. Проблематика міського кадастру територій на прикладі Криворізького регіону / Є. Г. Хлиповка, А. Ю. Паламар // Вісник Криворізького національного університету. – 2016. – Вип. 43. – С. 25-29.
9. Андрейшина Н. Б. Математичне забезпечення системи регіонального екологічного моніторингу / Н. Б. Андрейшина, О. О. Піддубна // Вісник Криворізького національного університету. – 2016. – Вип. 43. – С. 63-68.
10. Bertinia, M. A., Rufinob, R. R., Fushitab A. T., Lima M. I. S. Public green areas and urban environmental quality of the city of São Carlos, São Paulo, Brazil. Brazilian Journal of Biology. – 2016. – №76 (3). – pp. 700-707.
11. Финногенов А., Захарова М. Рейтинг качества жилой среды. Методология рейтингования [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://urbanica.spb.ru/research/ratings/rejting-kachestva-zhiloj-sredy-podrobnoe-opisanie-metodologii/>
12. Bosch P., Jongeneel S., Rovers V., Neumann H.-M., Airaksinen M., Huovila, A. CITYkeys indicators for smart city projects and smart cities [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nws.eurocities.eu/MediaShell/media/CITYkeysD14Indicatorsforsmartcityprojectsandsmartcities.pdf/>

13. **Об утверждении методики оценки качества городской среды обитания:** приказ Министерства регионального развития Российской Федерации № 371 от 09.09.2013 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/ документ / 499077345>

14. **The World's Cities in 2016.** Data Booklet of Department of Economic and Social Affairs, UN [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/the_worlds_cities_in_2016_data_booklet.pdf

15. **Планування і забудова територій: DBN B.2.2-12: 2018.** [Електронний ресурс] Режим до-ступа: http://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/b_2_2_12/1-1-0-1802

Рукопись поступила в редакцию 20.03.2019

УДК 622.2+658.5:519.1.51-3

В. Г. ГРІНЬОВ*, д-р техн. наук, проф., А. О. ХОРОЛЬСЬКИЙ, канд. техн. наук,
Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України
О. Р. МАМАЙКІН, канд. техн. наук, НТУ «Дніпровська політехніка»

ОЦІНКА СТАНУ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Мета. Розробити інструмент оцінки стану технологічних схем вугільних шахт, який базується на дослідженні реального стану технологічної мережі з урахуванням ієрархічних зв'язків між елементами системи.

Методи досліджень. Був використаний комплексний метод досліджень, який включає статистичний аналіз для встановлення залежності між показником технічного потенціалу та низкою незалежних показників виробничо-господарської діяльності шахти, багатокритеріальний метод Парето щодо оцінки рівня потенціалу та сприйняття вугільної шахти до інновацій. Використано методи дискретної математики на мережевих моделях для оптимізації параметрів експлуатації та впорядкування структури виробничих зв'язків.

Наукова новизна. Встановлено закономірності формування виробничо-господарської діяльності вугільних шахт, які враховують рівень концентрації гірничих робіт, продуктивність праці, темпи посування лінії очисного вибою, собівартість готової продукції. Було розроблено математичні моделі, що описують показник «технічний потенціал», який базується на дослідженні залежностей між даним показником і гірничо-геологічними і технологічними показниками шахти. Доведено, що відтворення оптимальних значень параметрів технологічної схеми означає повну реалізацію економічного потенціалу шахти, тобто гранично досяжного (еталонного) рівня, оскільки відповідність цьому рівню робить технологічну схему шахти сприйнятливою до інновацій.

Практична значимість. Запропоновано модель для дослідження ефективності технологічних схем вугільних шахт щодо оцінки рівня потенціалу та сприйняття до інновацій. Подальше представлення структури виробничих зв'язків у вигляді мережевої моделі дозволяє знизити собівартість видобутку, підвищити продуктивність праці.

Результати. Наведений підхід може бути застосований при оперативному та довгостроковому плануванні діяльності підприємств вугільної та суміжної галузей виробництва, також для визначення максимально досяжної величини економічної доданої вартості. Для реалізації описаних методик було розроблено відповідне програмне забезпечення.

Ключові слова: технологічна схема, потенціал, статистичний аналіз, параметри, оптимізація, мережа, програмне забезпечення.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-31-37

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сьогодні для вугільних шахт практично відсутня система кількісної оцінки стану технологічних схем, а існуючим (розрізненим) характеристикам схем властиві принципові помилки, а саме перевага віддається екстенсивному відтворенню рівня виробництва, а це, в свою чергу, йде на шкоду інноваційним перевагам [1]. Внутрішній потенціал технологічних мереж – один з найважливіших параметрів оцінки стану вугільних шахт. Його формування – результат впливу комплексу факторів, що визначають ефективність підземного видобутку, перш за все, для вугільної шахти це розвиток робіт у просторі. Ця властивість має об'єктивний характер, та пояснюється тим, що темп розвитку визначається діяльністю людини і залежить від багатьох факторів, зокрема, рівня науково-технічного прогресу, при цьому необхідність розвитку задана природою і не може бути виключена, навіть якщо буде змінена технологія виробничого процесу. Слід зазначити, що оцінка потенціалу необхідна для: визначення рівня «чутливості до інновацій», тобто відповідності впроваджених заходів із підвищення техніко-економічних показ-

ників з реальним їх приростом; прогнозування подальших тенденцій розвитку гірничих робіт, що дозволить на державному рівні приймати рішення щодо доцільності фінансування зазначеного підприємства. Таким чином розробка підходів щодо оцінки потенціалу та оптимізації параметрів технологічних схем вугільних шахт (а також родовищ корисних копалин) є актуальною науковою задачею.

Аналіз досліджень і публікацій. Умовно методи оцінки можна розділити на три групи: до першої групи відносять підходи, які базуються на застосуванні критеріїв, зокрема «трудомісткість» робіт [1], «гнучкість» технологічної схеми [2], енергетичні витрати [3], витрати на видобуток тони вугілля [4] та ін. Характерною особливістю підходів першої групи є те, що вони не враховують розвиток робіт у просторі, можливий потенціал технологічної схеми, тобто прийняте рішення є не оптимальним, а прийнятним лише для вказаних умов експлуатації. До другої групи відносять методи, які передбачають порівняння параметрів технологічної схеми з еталонними значеннями [5, 6] (трудомісткість, витрати матеріалів, коефіцієнт готовності та ін.), проте існує ряд недоліків до яких можна віднести трудомісткість розрахунків, неможливість отримання достовірних даних, так як, враховують кінцевий результат, а не стадії отримання продукту, окрім цього, відсутні інструменти оптимізації. До третьої групи відносять методи аналізу ієрархій (МАІ) серед них базовий метод АНР [7] та його модифікації fuzzy-АНР [8], Grey-АНР [9], TODIM [10], методи багатокритеріальної оптимізації: PROMETHEE [11], ELECTRE [12], VICOR [13]. Застосування даних підходів передбачає порівняння критеріїв між собою, визначення найбільш «впливових» та подальша оптимізація. Однак, існує ряд недоліків, які не дозволяють застосувати наведені підходи: значення критеріїв ефективності між собою можуть бути не спів розмірними, тобто, із умови безбитковості вугільної шахти [14] продуктивність вибою повинна складати 1000 т/доб., для більшості вибоїв ця умова виконується, так як продуктивність не перевищує 1600 т/доб., однак існують очисні вибої з продуктивністю 3200 т/доб. [15], отже рівню значної переваги $H_d = 0.5$ буде відповідати продуктивність $Q = 1000$ т/доб., а максимальної переваги $H_d = 1.0$ буде відповідати продуктивність $Q = 3200$ т/доб., фактично 66% очисних вибоїв будуть «переважними». Також невідомо як враховувати між собою зв'язки на «нижчих» ієрархічних рівнях: в очисному вибою, у циклі з видобутку, транспортування вугілля та ін. Окрім цього, існує «область раціонального проектування» [16], тобто сукупність технологічних, економічних, експлуатаційних параметрів які відповідають циклу з видобутку вугілля. Оцінка потенціалу та оптимізація параметрів експлуатації передбачає комплекс заходів не тільки з порівняння можливих варіантів між собою та вибору прийнятного але і подальшу оптимізацію та впорядкування виробничого циклу.

Постановка задачі. Таким чином, аналіз робіт [1–16] свідчить про те, що для підвищення ефективності функціонування технологічних схем необхідно розробити інструмент оцінки реального потенціалу з урахуванням зв'язків між елементами системи. Для цього необхідно:

запропонувати показники оцінки рівня концентрації гірничих робіт та техніко-економічної стійкості технологічної мережі шахти;

визначити фактори, які впливають на ефективність технологічної схеми;

розробити універсальний підхід щодо оптимізації та впорядкування технологічної схеми;

запропонувати систему підтримки прийняття рішень.

Для цього необхідно провести комплексний метод досліджень, який включає статистичний аналіз для встановлення залежності між показником технічного потенціалу та низкою незалежних показників виробничо-господарської діяльності шахти, багатокритеріальний метод Парето щодо оцінки рівня потенціалу та сприйняття вугільної шахти до інновацій. Застосувати методи дискретної математики на мережевих моделях для оптимізації параметрів експлуатації та впорядкування структури виробничих зв'язків.

Викладення матеріалу та результати. У якості вихідних факторів з метою дослідження формування параметра «технічний потенціал» були прийняті наступні показники з різних груп, які характеризують виробничу діяльність, гірничо-геологічні та технологічні умови шахт Донбасу: рівень концентрації гірничих робіт L , продуктивність праці робітника з видобутку P , місячне посування лав V , собівартість видобутку 1 т вугілля S .

Для визначення внутрішнього потенціалу були розглянуті основні факторні ознаки, які можуть визначати формування технічного потенціалу топологічної мережі шахти, як інтегральної оцінки шахти в частині інновацій. Що стосується продуктивності праці робітника з видобутку, місячного посування лав і собівартості видобутку 1 т вугілля, то їх значення були прийняті за фактичними даними про діяльність антрацитових шахт, що входять до складу ДП «Свердловантрацит», «Ровенькиантрацит» і «Донбасантрацит» за 2010–2012 рр. Даний часовий проміжок обрано не випадково, адже в розглянутий період підприємства працювали у плановому режимі, до початку військових дій.

Для побудови рівняння множинної регресії, що описує показник «технічний потенціал», використаний покроковий метод включення змінних. Таким чином, визначення максимально досяжної величини економічної доданої вартості, створюваної шахтою, є одним із різновидів багатокритеріальної задачі з чотирма критеріями, яку необхідно звести до однокритеріального з функцією цілі (1)

$$k_k = -\alpha + \beta P - \mu S \rightarrow \max, \quad (1)$$

де k_k – зведений показник внутрішнього потенціалу мережі виробок; P – продуктивність праці робітника з видобутку; S – собівартість видобутку 1 т вугілля; α , β , μ – показники якості гірничої маси визначаються топологією мережі виробок та відповідністю виїмкової техніки умовам залягання пластів, для вугільного виробництва це найчастіше зольність, вологість, зміст шкідливих компонентів (тоді критерій $\alpha \rightarrow \min$).

Досягнення максимальної величини залежить, насамперед, від співвідношення величин L, P, V, S . Крім того, слід враховувати той факт, що максимізація показника «технічний потенціал» досягається в умовах обмеженості потужності по чиннику вентиляція і щільності продуктивних потоків відповідно. Отже, завдання максимізації параметру k_k , зводиться до пошуку компромісу між величинами чотирьох основних факторів (1).

При такій інтерпретації економіко-математична модель записується таким чином: визначити оптимальні значення функцій цілі за наступними критеріями [17]:

$$\begin{aligned} L(X, Y) &\rightarrow \min; \\ P_i(X, Y, Z) &\rightarrow \max; \\ V_i(X, Y, Z) &\rightarrow \max; \\ S_i(X, Y, Z) &\rightarrow \min, \end{aligned} \quad (2)$$

де $\{X\}, \{Y\}, \{Z\}$ – точки, що характеризують можливі рішення у просторі множин Парето, тобто кожне рішення можна представити у вигляді векторів $(\overline{O}, \overline{X}); (\overline{O}, \overline{Y}); (\overline{O}, \overline{Z})$, що виходять із точки початку координат O та закінчуються у відповідних точках множин $\{X\}, \{Y\}, \{Z\}$. Кожній множині $\{X\}, \{Y\}, \{Z\} \Rightarrow \{X_1, X_2, \dots, X_n\}, \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}, \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$ – відповідають обмежувальні фактори за продуктивністю, собівартістю, якістю та ін. Визначення найбільш оптимального поєднання параметрів $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}, \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}, \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$ і є відтворення технологічного потенціалу шахти. Найбільш прийнятним способом розв'язку даної задачі є багатокритеріальний метод Парето [18, 19].

Відтворення оптимальних значень параметрів технологічної схеми означає повну реалізацію економічного потенціалу шахти, тобто гранично досяжного (еталонного) рівня, оскільки досягнення саме цього рівня робить технологічну схему шахти сприйнятливою до інновацій.

У найбільш загальному вигляді будь-яке виробництво розглядається таким чином [20, 21]: деяке число людей M за допомогою N машин впродовж часу T виконують роботу з видобутку вугілля в обсязі A з визначеною якістю α . Для виробництва необхідні ресурси в об'ємі K . На утримання людей і машин, а також на видобуток вугілля витрачаються певні кошти S . Як для людей, так і для машин необхідні сприятливі умови роботи (кількісно це можна виразити співвідношенням роботоспроможністю людей $\sum R$ і машин $\sum q$ відповідно).

Будь-яка з названих величин залежить від умов і мети розв'язку задачі може слугувати характеристикою ефективності даної технологічної схеми шахти, тобто може бути прийнята за критерій оптимальності. При цьому останні характеристики або приймаються постійними, або допускається їх коливання в деяких межах (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика ефективності процесу видобутку вугілля

Показники	Форма критерію	Форма обмежень
Чисельність робітників, люд.	$M \rightarrow \min$ (1.1)	$0 \leq M \leq M_{\max}$
Кількість гірничої техніки	$N \rightarrow \min$ (1.2)	$1 \leq N \leq N_{\max}$
Об'єм матеріальних ресурсів, грн.	$A \rightarrow \min$ (1.3)	$A_{\min} \leq A \leq A_{\max}$
Час роботи, год	$T \rightarrow \min$ (1.4)	$0 \leq T \leq T_{\max}$
Об'єм видобутого вугілля, т	$Q_m \rightarrow \min$ (1.6)	$Q_{\min} \leq Q_m \leq Q_{\max}$
	$Q_m/Q_{nl} \rightarrow 1$ (1.7)	
Зольність рядового вугілля, %	$\alpha \rightarrow \min$ (1.8a)	$\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$
	$\alpha_s \rightarrow \min$ (1.8б)	
Витрати на 1т, грн.	$S \rightarrow \min$ (1.9)	$S_{\min} \leq S \leq S_{\max}$
Безпека праці і зручність роботи людей	$\Sigma R_m / \Sigma R_0 \rightarrow 1$ (1.10)	$M_m / M_0 = 1$ $\Sigma R_m / \Sigma R_0 \geq k_{\min}$
Технічна надійність вибійного обладнання	$\Sigma q_m / \Sigma q_0 \rightarrow 1$ (1.11)	$\Sigma q_m / \Sigma q_0 \geq k'_{\min}$

Проте для конкретних організаційних завдань існують досить важкі умови вживання окремих критеріїв:

1. Чотири величини з названих (M, N, A, T) характеризують вихідні компоненти видобутку вугілля: виробничі ресурси, техніка та технологія і витрати праці (M і T). Вочевидь, що як критерій оптимальності вони мають бути мінімізовані (вирази (1.1)–(1.4) в табл. 1), але при обов'язкових вимогах заданого обсягу вугілля: $Q_m \geq Q_{nl}$, інакше завдання втрачає сенс. Такий варіант постановки задачі доцільний, якщо фізично можлива економія ресурсів, що витрачаються на видобуток.

2. Показники ΣR та Σq теоретично можуть бути критеріями і навіть застосовуватися в окремих короткочасних ситуаціях. Проте по своїй суті вирази (1.10), (1.11) мають протиріччя сенсу активної діяльності.

3. Показники Q_m , α , S характеризують результати виробництва, але вони різні по своїй суті, тому розглянемо кожен з них окремо: максимізація об'ємів видобутку Q_m найбільшою мірою відповідає меті виробництва за умови дотримання всіх необхідних обмежень, пов'язаних з ресурсами, умовами роботи і якістю рядового вугілля. Даний критерій не може бути застосованим лише при обмеженні потужності суміжних ланок. Тоді доцільніше скористатися виразом (1.7), де Q_{nl} – заданий обсяг видобутку.

У ряді випадків продуктивність системи (q) може бути прийнята постійною для дискретних систем відповідного рівня. Тоді $Q_m = qT$, і в цих випадках з метою спрощення формулювання і вирішення задачі замість величини Q_m як критерій можна застосувати коефіцієнт використання устаткування $k_u = T/T_{nl}$. Для шахти це найдоцільніше в короткочасних, оперативних організаційних завданнях, де без великої похибки можна прийняти $q = \text{const}$.

Показники якості при цьому грають роль обмежень в задачах, для яких не може бути прийнято $\alpha = \text{const}$, до них відносяться, насамперед, задачі планування видобутку складних по складу ділянок шахтного поля (некондиційні за якістю запаси).

Витрати S на виробництво деякого об'єму видобутку є похідним показником

$$S = f(N, M, T, A, Q_m).$$

Як узагальнений економічний показник, ця величина може слугувати критерієм оптимальності за умови фіксованого обсягу виробництва $Q = \text{const}$. Досить точний розрахунок витрат може бути виконаний лише за відносно великий термін часу (декада, місяць), тому при вирішенні оперативних завдань цей критерій застосовувати недоцільно через його малу чутливість. Крім того, на практиці лише за витратами важко оцінити дійсну ефективність виробництва, оскільки при різних організаційних альтернативах $Q_m \neq \text{const}$. Тому частіше використовують економічні критерії, похідні від S . Зокрема, в завданнях поточного (місячного) планування і управління як критерій широко використовуються питомі витрати (собівартість). Після побудови моделі оцінки технологічного потенціалу слід перейти до визначення факторів, які сприяють відтворенню заданого рівня. Лише після цього можна перейти до їх оптимізації та впорядкування технологічного циклу.

Таким чином оцінка потенціалу вугільної шахти включає аналіз техніко-економічних показників роботи, рівень механізації, топологію гірничих виробок, структуру виробничого циклу.

При цьому ефективність технологічної схеми має детермінований характер, тобто загальна ефективність системи залежить від ефективності на кожному з етапів виробництва, тому без оптимізації та впорядкування зв'язків на нижчих за ієрархією рівнях: «очисний вибій», «система транспорту» та ін. неможливо вирішити задачу підвищення ефективності виробництва.

В роботах [22–24] наведено методологію, область застосування та отримані результати. Суть наведеного підходу [22] полягає у наступному:

технологічну схему або структуру виробничих зв'язків можна представити у вигляді впорядкованої структури – мережевої моделі, при цьому можна розглядати як усю технологічну схему, цикл так і «локальну» підсистему – технологічний ланцюжок очисного обладнання, витрати на обслуговування та ремонт та ін.;

в якості вершин мережевої моделі слід прийняти об'єкти які впливають на ефективність, тобто типи обладнання, проміжні етапи технологічного циклу та ін., при цьому об'єктам одного призначення (наприклад, очисні комбайни, механізовані кріплення) відповідає один рівень в мережевій моделі;

після цього слід з'єднати вершини, в якості відстаней (ребер) приймають значення оптимізаційного параметру, який формується на вказаному етапі; обов'язковою умовою є включення усіх етапів для кожної альтернативи;

тоді задача пошуку оптимальної альтернативи технологічної схеми за величиною оптимізаційного параметру може бути сформована як знаходження найкоротшого маршруту в мережевій моделі з поміж запропонованих, а задача впорядкування полягає в пошуку найкоротшого маршруту з поміж можливих.

Задача пошуку найкоротшого маршруту може бути вирішена методами лінійного програмування, ручним перебором, але кількість альтернатив які слід перебрати складає 2^N де N – кількість типів обладнання, тобто, для 5–6 альтернатив, які включають 10 типів обладнання необхідно проаналізувати 2^{10} маршрутів, що фізично неможливо. Тому, в Інституті фізики гірничих процесів НАН України було розроблено та зареєстровано програмне забезпечення [25], яке дозволяє автоматизувати процес пошуку оптимальних технологічних схем та впорядкування технологічного процесу. Область застосування не обмежується гірничим виробництвом, а може застосовуватись і у суміжних галузях виробництва [26, 27, 28].

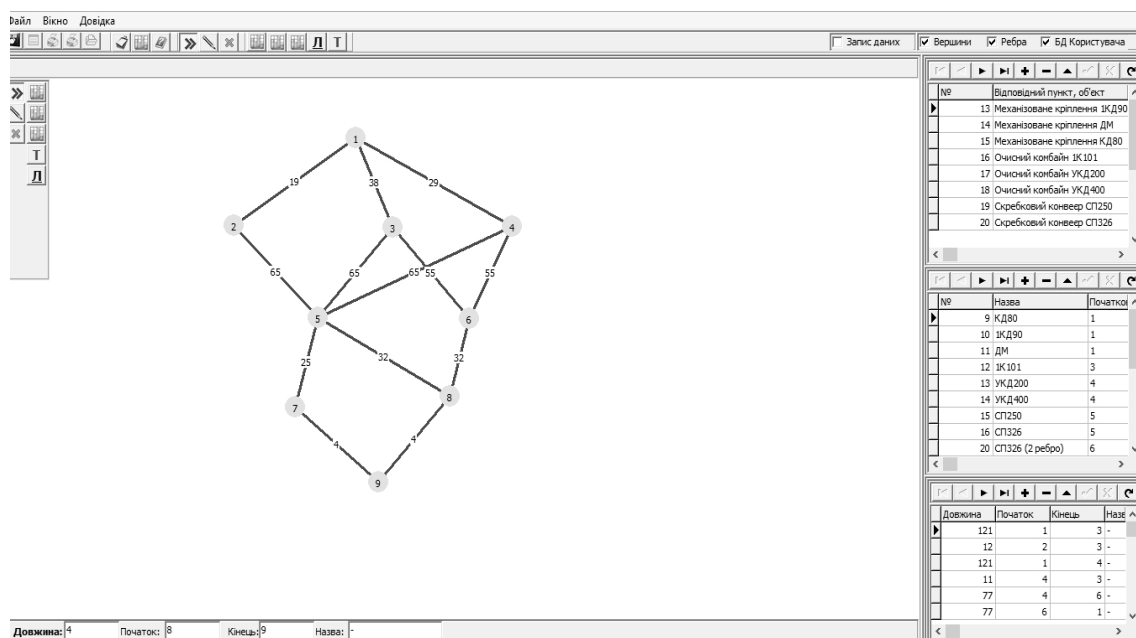


Рис. 1. Інтерфейс програми пошуку оптимальних маршрутів у мережевій моделі

Окрім цього програма має можливість формування «банку даних» проектних рішень [29, 30], тобто проектувальник може створити технологічну схему підприємства, циклу, ділянки та постійно аналізувати її на предмет зазначених у роботі параметрів. Більш того, наявні бази даних дозволяють зберігати інформацію та формувати комплексні звіти. Застосування наведеної системи підтримки прийняття рішень дозволяє не тільки оптимізувати параметри експлуатації,

але і впорядкувати структуру виробничих зв'язків, тобто знайти умови функціонування при яких оптимізаційний параметр буде найменшим з поміж можливих.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Технічний потенціал технологічної схеми – комплексна оцінка, яка враховує відповідність рівня концентрації гірничих робіт, розвитку підприємства у просторі, структуру виробничих зв'язків, цикл з виробництва продукції до рівня максимальної ефективності підприємства. Для сприйняття інновацій слід знайти оптимальні значення параметрів технологічної схеми, що означає повну реалізацію економічного потенціалу шахти, тобто гранично досяжного (еталонного) рівня. Процес пошуку ускладнений різноманітністю параметрів та природою їх виникнення але застосування мережевих моделей та алгоритмів оптимізації на мережах дозволили розробити систему підтримки прийняття рішень, яка дозволяє запровадити наведений у роботі підхід у виробництві.

Подальші дослідження слід направити на розробку підходів щодо відтворення заданого рівня ефективності при обмежених ресурсах та розробити методи відносно прийняття рішень в умовах невизначеності.

Список літератури

1. Миндубаева Е.Н. Обоснование рациональной технологической схемы угольной шахты на основе оптимизации ее функциональных подсистем. М.: ГИАБ, 2005. №5 С. 34–37.
2. Kazakidis V.N. Planning for flexibility in underground mine production systems. Technical papers. Advances in Futures and Options Research. 2010. Vol. 4. pp. 153–164.
3. Hoseini S.H. Modeling and Simulation of Drum Shearers Reliability at Mechanized Longwall Mines – case study: PhD Thesis. Shahrood, Iran, 2011. 200 p.
4. Myszkowski M., Paschedag U. Longwall mining in seams of medium thickness comparison of plow and shearer performance under comparable conditions. Caterpillar Inc., 2013. 50p.
5. Brazil M., Thomas D.A., Weng J.F., Lee D.H., Rubinstein J.H. Cost optimization for underground mining networks. Optimizat Eng. 2005. Vol.6. pp. 241–256.
6. Krauze K. Selection of shearer cutter loader parameters for unidirectional and bidirectional longwall mining systems. Mine Planning and Equipment Selection. 2004. Vol. 1. 439–443 pp.
7. Ataei, M.; Jamshidi, M.; Sereshki, F., & Jalali I. S.M.E. Mining method selection by AHP approach. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2008, 108(12), 741-749.
8. Mikaeli, R., Naghadehi, M., Ataei, M., & Khalokakaie, R. A decision support system using fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) and TOPSIS approaches for selection of the optimum underground mining method. Archives of Mining Sciences, 2009, 54(2), 349-368.
9. Dehghani, H., Siami, A., & Haghi, P. A new model for mining method selection based on grey and TODIM methods. Journal of Mining & Environment. 2017, 8(1), 49-60.
10. Tzeng, G., & Huang, J. Multiple attribute decision making: Methods and applications. 2011, Boca Raton, FL, USA: Chapman and Hall/CRC Press.
11. Grujic, M., & Tomasevic, A. Choice of outside transportation system in underground coal mines by multiple criteria analysis. Underground Mining Engineering, 1996, 4(1), 62-70.
12. Zhang, J. & Wang, Zh. The selection of coal strategic suppliers to the electric power enterprises based on cooperative game. China Coal, 2012, 3(4), 230-240.
13. Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. European Journal of Operational Research, 2007, 178(2), 514-529.
14. Яценко Ю.П. Достижение экономических пропорций расширенного воспроизводства на действующих шахтах Донбасса. Уголь Украины. 2011. № 9. С. 6–11.
15. Пилюгин В.И. Влияние технических и технологических инноваций на перспективу развития шахты. Уголь Украины. 2010. № 12. С. 13–16.
16. Гринев В.Г., Николаев П.П., Деуленко А.И., Череповский П.В. Технологические аспекты физики горных процесов. Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 2013. № 13. С. 197–208.
17. Саллі С.В., Бондаренко Я.П., Терещенко М.К. Управління техніко-економічними параметрами вугільних шахт (НГУ). –Д.: Герда, 2009. – 150 с.
18. Бойченко Н.В. К вопросу экономической устойчивости угольных шахт в депрессивных районах Донбасса // Экономика: проблемы теории та практики. Зб. наук. праць Дніпропетровського національного університету. Випуск 159. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2002. – С. 157-164.
19. Mamaikin, O. Coal industry in the context of Ukraine economic security / O. Mamaikin, J. Kicki, S. Salli, V. Horbatova // Mining of Mineral Deposits / National Mining University. – Dnepr, 2017. – Vol. 11. – pp. 17-22.
20. Воспроизводство шахтного фонда и инвестиционные процессы в угольной промышленности Украины / Г.Г. Пивняк, А.И. Амоша, Ю.П. Яценко и др. – К.: Наук. думка, 2004. – 331 с.
21. Оцінка економічної ефективності вугледобувних підприємств у сучасних умовах / С.В. Салі, О.Р. Мамайкін, В.М. Почепов // Школа підземної розробки – 2017: Матеріали міжнародної конференції, 4-8 вересня 2017 р. – Дніпро: Національний гірничий університет, 2017. – С. 75–76.
22. Гринев В.Г. Графы и сети для выбора горно-шахтного оборудования. Днепропетровск, 2016. 247 с.
23. Hrinov V.G. and Khorolskyi A.A. Improving the Process of Coal Extraction Based on the Parameter Optimization of Mining Equipment. E3S Web of Conferences, Ukrainian School of Mining Engineering, 2018, 60, 00017.

24. **Хорольський А.О., Грінюв В.Г.** Системні принципи та оціночний критерій надійності при оптимізації технологічних схем вугільних родовищ. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: «Технічні науки», 2017, 80(2), 199–207.
25. **Гринев В.Г., Хорольський А.А.** Обоснование параметров выбора комплектаций очистного оборудования с учетом области рациональной эксплуатации. Вести Донецкого горного института, 2017, 1(40), 139–144.
26. **Хорольський А.О., Грінюв В.Г.** Закономірності формування технологічних схем для ефективної експлуатації вугільних родовищ. // Форум гірників–2018: матеріали міжнародної науково практичної конференції. – Дніпро, 2018. – С. 43–51.
27. **Vladyko, O., Kononenko, M., & Khomenko, O.** Imitating modeling stability of mine workings. Geomechanical processes during underground mining, 2012, 147–150.
28. **Zhanchiv, B., Rudakov, D.V., Khomenko, O.Ye., & Tsendzhav, L.** Substantiation of mining parameters of Mongolia uranium deposits. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2013, (4), 10–18.
29. **Balusa, B.C., Singam, J.** Underground mining method selection using WPM and PROMETHEE. Journal of the Institution of Engineers (India): Series D, 2017, 99(1), 165–171.
30. **Shariati S., Abdolreza Y.-C., Behrang P.B.** Mining method selection by using an integrated model. Int. Res. J. Appl. Basic Sci. 2013. 6(2), 199–214.

Рукопис подано до редакції 22.03.2019

УДК 614.8:331.45:331.421:331.582.2

К.В. ДАНОВА, канд. техн. наук, доц.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУВАННЯ ВИДІВ І НАСЛІДКІВ ВІДМОВ У ДОСЛІДЖЕННІ РИЗИКІВ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ ПРАЦІВНИКА ІЗ ІНВАЛІДНІСТЮ

Мета. Дослідження інформаційних можливостей методу аналізування видів і наслідків відмов у оцінці ризиків на робочому місці працівника із інвалідністю з метою розробки заходів щодо попередження виникнення небезпечних ситуацій, пов'язаних із травмуванням працівника чи створенням аварійної ситуації на об'єкті. Особливу увагу приділено аналізу невідповідностей, що виникають при роботі працівника за наявності стійких вад у стані здоров'я, які обумовлюють особливу вразливість цієї категорії працівників із погляду виробничої безпеки.

Методика дослідження. Методика ґрунтується на використанні принципів системного аналізу на базі вивчення інформації про технологічний процес, що розглядається, особливості виробничого обладнання, а також вплив стану здоров'я працівника на безпеку праці. Метод аналізування видів і наслідків відмов (Failure Mode Effect Analysis) є загальноовизнаним у світовому фаховому співтоваристві методом управління ризиками, зокрема у сфері охорони праці, використання якого дозволяє сформувати перелік невідповідностей, які призводять до виникнення небезпек, та дає інформацію, необхідну для розуміння факторів, що впливають на роботу системи «обладнання – працівник із інвалідністю» в аспекті безпеки праці.

Наукова новизна. Полягає у формуванні переліку невідповідностей на робочому місці працівника та визначенні пріоритетного числа ризику, що може бути використано для прийняття управлінських рішень для подальшої розробки заходів із попередження виробничого травматизму та підвищення загального рівня безпеки на підприємстві.

Практичне значення. Полягає у вивченні можливості використання даного підходу до удосконалення системи управління охороною праці на підприємстві із урахуванням безпеки працівників із інвалідністю, що сприятиме зростанню чисельності осіб із стійкими вадами здоров'я, яких буде працевлаштовано на виробництві.

У результаті використання методу аналізування видів і наслідків відмов на прикладі робочого місця працівника, який виконує виробничі операції на металообробному верстаті, отримано кількісні показники ризику із урахуванням важкості наслідків та можливостей своєчасної ідентифікації невідповідностей. Це дає можливість визначити пріоритетні шляхи щодо вдосконалення стану охорони праці на робочому місці.

Ключові слова: ризик, працівник, інвалідність, безпека, відмова, травматизм.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-37-41

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Забезпечення сталого розвитку промисловості неможливе без впровадження ефективних рішень по забезпеченню безпеки працівників на робочих місцях. Організація технологічного процесу та виробничого середовища із урахуванням вимог охорони праці дозволяє підвищити ефективність трудової діяльності, знизити рівень травматизму та професійної захворюваності, попередити плинність кадрів, що позитивно відіб'ється на рентабельності, конкурентоспроможності та інвестиційній привабливості підприємства.

Складність забезпечення належного рівня виробничої безпеки за сучасних соціально-економічних реалій характеризується відносно високим рівнем виробничого травматизму у порівнянні із країнами із розвинутою економікою. Так, наприклад, у 2017 р. кількість загиблих на виробництві у Великій Британії становила близько 145 осіб [1]. Натомість, в Україні чисельність осіб, які загинули внаслідок нещасного випадку, пов'язаного із виробництвом, згідно із офіційними даними, становила 366 осіб [2]. Перевищення у 2,5 рази чисельності загиблих працівників лише частково характеризує реальну ситуацію травматизму на робочих місцях у зв'язку із особливостями формування статистичної інформації в нашій країні.

Не менш складною є ситуація із травматизмом із стійкою втратою професійної працездатності, внаслідок чого виникають стійкі функціональні порушення організму, обмеження життєдіяльності та інвалідність. Працівники, які потерпіли унаслідок нещасного випадку чи професійного захворювання на виробництві, втрачають професійну працездатність, але при цьому мають заробляти на життя. Намагаючись працевлаштуватися, вони, незважаючи на вимоги законодавства щодо соціального захисту осіб із інвалідністю та перешкоджанню дискримінації, стикаються із значними перепонами при працевлаштуванні, оскільки роботодавець пов'язує працівників із обмеженими можливостями із додатковим ризиком травмування чи аварії. Складність працевлаштуватися на реальне робоче місце призводить до того, що значна кількість громадян (понад 2 млн. осіб працездатного віку, яким встановлено II чи III групи інвалідності) [3] є виключеними із виробничого процесу, що має негативні соціально-економічні наслідки для нашої країни.

Охорона праці на робочих місцях працівників із інвалідністю має забезпечуватися із урахуванням особливостей стану їх здоров'я та рівня працездатності. У такому випадку може бути забезпечена як безпека, так і необхідна ефективність праці даної категорії працівників.

Аналіз досліджень і публікацій. Ризикорієнтований підхід визнано пріоритетним напрямом забезпечення безпеки на робочих місцях. Директива Ради 89/391/ЄЕС щодо запровадження заходів, які сприяють покращенню стану безпеки та охорони здоров'я працівників на роботі [4], визначає загальні принципи стосовно запобігання виробничим ризикам, охорони здоров'я, а також виключення факторів ризику і нещасних випадків із виробничих процесів. Роботодавцеві необхідно впроваджувати заходи щодо імплементації загальних принципів охорони праці, які ґрунтуються на вирішенні завдань: а) уникнення ризиків; б) оцінки ризиків, яких не можна уникнути; в) боротьби з джерелами ризиків; г) адаптації робочих місць та технологічних процесів до індивідуальних потреб працівників та ін.

При імплементації європейських директив у вітчизняне законодавство Україна також визнала пріоритетність ризикорієнтованого підходу у забезпечення безпеки праці на робочих місцях. При цьому особливої актуальності вирішення цього питання набуває при дослідженні небезпек на робочих місцях вразливих категорій працівників: недосвідчених працівників, які не мають достатнього досвіду безпечного виконання виробничих операцій; працівників із вадами у стані здоров'я.

Враховуючи вимоги Директиви [4], країни Європейського союзу приділяють велику увагу питанню забезпечення безпеки працівників, зокрема із інвалідністю, з метою залучення їх на робочі місця [5-7]. При цьому очікуваний соціально-економічний ефект визначає виключну важливість розбудови цього напрямку.

Постановка задачі. Складність організації охорони праці працівників із інвалідністю обумовлюється недостатністю інформації стосовно особливостей стану здоров'я працівника та робочих завдань, які він може виконувати безпечно та ефективно. Тому оцінка ризиків на робочих місцях працівників із інвалідністю дає змогу оцінити достатність наявних заходів безпеки, а також виявити невідповідності, що потребують розробки заходів по підвищенню рівня безпеки.

Викладення матеріалу та результати. Метод аналізування видів і наслідків відмов (Failure Mode Effect Analysis – FMEA) [8-9] призначений для ідентифікації видів відмов та оцінювання ризиків, пов'язаних, у тому числі, із помилковими діями працівників.

У якості вхідної інформації, необхідної для подальшого аналізу, використовується технічна інформація про виробниче обладнання, технологічний процес, а також статистична інформація стосовно відмов, які призвели до травмування працівників, несправностей обладнання чи інших небажаних подій. У якості прикладу розглянемо робоче місце працівника, якому встановлено II групу інвалідності, при роботі на зігувальному верстаті ІКМН (рис. 1).



Рис. 1. Зігувальний станок IKMN

Даний верстат призначений для виконання кругових операцій з листовим металом, зокрема нанесення виїмок на заготівлю із метою її зміцнення. Конструктивно дане обладнання включає у себе два вали, що розташовані горизонтально, на яких закріплено формувальні ролики. При проходженні листового металу крізь ролики, відбувається його пластична деформація та на заготівлі з'являються відповідні виїмки. Верстат приводиться у дію електроприводом, керування при цьому здійснюється пе-

даллю.

На робочому місці, що розглядається у якості прикладу, технологічні операції виконуються працівником, якому встановлено II групу інвалідності внаслідок отримання травми, пов'язаної із виробництвом. Відповідно до Положення про медико-соціальну експертизу [10], підставою для встановлення II групи інвалідності є стійкі, вираженої важкості функціональні порушення в організмі, зумовлені захворюванням, травмою або вродженою вадою, що призводять до значного обмеження життєдіяльності особи, при збереженій здатності до самообслуговування та не спричиняють потреби в постійному сторонньому нагляді, догляді або допомозі. Виходячи з цього, проаналізуємо можливі небезпечні ситуації, пов'язані із роботою працівника із інвалідністю на даному обладнанні.

В основу методу FMEA покладено принцип встановлення бальних оцінок за трьома показниками, що характеризують певний технологічний процес чи обладнання в аспекті ризику: значимість, виникнення та виявлення [9]: показник значимості являє собою інтегральну оцінку серйозності наслідків певної відмови; частота виникнення характеризує можливість виникнення невідповідності та небажаних наслідків, до яких вона може призвести; показник виявлення містить оцінку вірогідності того, що дана невідповідність може бути виявлена методами контролю, що вже впроваджено. Усі показники оцінюються за 10-бальною шкалою (табл. 1).

Таблиця 1
Шкала оцінювання показників за методом Failure Mode Effect Analysis

Бали	Показники, що характеризують відмову		
	Значимість (S)	Виникнення (O)	Виявлення (D)
10	дуже небезпечна	надзвичайно висока	практично неможливе
9	небезпечна	дуже висока	дуже віддалене
8	дуже важлива	висока	віддалене
7	важлива	середня	дуже слабе
6	помірна важливість	помірна	слабе
5	слабка	невисока	помірне
4	дуже слабка	незначна	помірно добре
3	незначна	низька	добре
2	дуже незначна	дуже низька	дуже добре
1	відсутня	маловірогідна	абсолютне

Для виявлення ризиків у роботі працівника із інвалідністю проаналізуємо можливі невідповідності, що можуть спричинити істотний вплив на рівень безпеки працівника при виконанні технологічних операцій на зігувальному верстаті.

Пріоритетне число ризику (R) – це узагальнена кількісна характеристика небезпеки певної невідповідності, яка отримана на базі експерт-

них оцінок рангів значущості усіх показників, зазначених у табл. 2

$$R = S \cdot O \cdot D,$$

де S – бальна оцінка значимості невідповідності у аспекті безпеки; O – бальна оцінка можливості виникнення невідповідності на робочому місці, що розглядається; D – бальна оцінка можливості виявлення невідповідності із метою своєчасного попередження реалізації небезпеки.

З наведеного розподілу видно, що найбільшу оцінку отримали невідповідності, пов'язані із невідповідністю відстані рук працівника до частин обладнання, що обертаються, невідповідність робочого навантаження можливостям працівника, а також недостатня координація рухів для утримання заготівлі та можливі випадки електротравматизму. За величиною пріоритетного числа ризику можливо встановити черговість впровадження заходів з охорони праці при роботі на зігувальному верстаті (рис. 2).

Контрольний лист Failure Mode Effect Analysis

Процес	Невідповідність	Наслідки потенційної невідповідності	S	O	D	R
Встановлення робочого інструменту	Недостатнє закріплення формувальних роликів	Виліт роликів, можливість травмування працівника внаслідок деформації металу	3	6	4	72
Встановлення робочого інструменту	Помилкове увімкнення верстата	Травмування рук працівника, захоплення роликками одягу	8	3	2	48
Встановлення заготівлі	Недостатня координація рухів для утримування заготівлі	Зісковзування, падіння заготівлі	5	8	3	120
Подача заготівлі у робочу зону	Положення, сила притискання	Зісковзування, падіння	6	3	3	54
Виконання виробничої операції металообробки	Наближення рук, одягу до роликів, що обертаються, ближче 100 мм	Травмування рук працівника, захоплення роликками одягу	8	6	5	240
Виконання виробничої операції металообробки	Розрив контуру занулення	Ураження працівника електричним струмом	10	2	7	140
Виконання виробничої операції металообробки	Положення тіла працівника	Падіння працівника на частини обладнання, що обертаються	2	2	2	8
Виконання виробничих операцій	Надмірна кількість операцій за годину	Передчасне стомлення працівника, можливість травмування	5	7	5	175
Налагоджувальні операції	Регулювання механізмів верстата при його роботі	Травмування рук працівника, захоплення роликками одягу	8	2	3	48

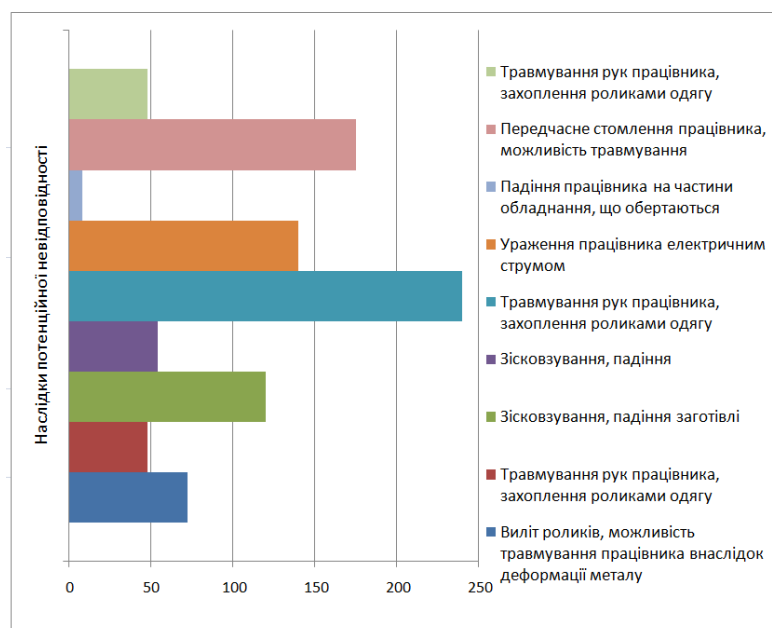


Рис. 2. Гістограма ризику травмування працівника при роботі на зігувальному верстаті

Також при плануванні роботи по попередженню травматизму з метою економії ресурсів доцільно визначити перелік вагомих невідповідностей, які підлягають подальшій обробці, задля зосередження на найбільш суттєвих небезпеках. Для цього методикою FMEA передбачено використання граничного пріоритетного числа ризику (ПЧР_{гр}), що визначається із урахуванням цілей та завдань дослідження та може переглядатися в міру потреби. Для даних умов дослідження

ПЧР_{гр}=100, що конкретизує перед фахівцями завдання щодо підвищення рівня безпеки на даному робочому місці. Отримані результати аналізу ризику необхідно співвідносити із інформацією щодо обмежень, яка міститься у індивідуальній програмі реабілітації працівника із інвалідністю, яка оформлюється за результатами обслідування людини медико-соціальною експертною комісією (МСЕК). Так, на робочому місці, що розглядається, трудові операції виконує працівник, якому встановлено II групу інвалідності внаслідок наявності обмежень щодо спілкування, пересування та трудової діяльності II ступеня. Із урахуванням результатів, отриманих внаслідок використання методу FMEA, визначено пріоритетні шляхи забезпечення безпеки на даному робочому місці, а саме: попередження стомлення працівника шляхом регулювання режиму роботи, що дозволить підтримувати необхідну увагу та координацію рухів упродовж робочого часу, а також попередження падіння працівника.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Таким чином, метод аналізування видів і наслідків відмов FMEA дозволяє провести аналіз невідповідностей на робочому місці працівника із інвалідністю та на базі отриманого пріоритетного числа ризику визначити першочергові заходи щодо попередження травмування працівника та запобігання аварійним ситуаціям на підприємстві. Подальше дослідження може спрямовуватися на докладне вивчення причин виникнення невідповідностей на робочому місці, засобів їх ідентифікації та заходів з підвищення рівня охорони праці на робочих місцях, зокрема для працівників із інвалідністю.

Список літератури

1. Workplace fatal injuries in Great Britain 2017/18. Annual Statistics / Health and Safety Executive Published 4 th July 2018 This document is available from www.hse.gov.uk/statistics/
2. Статистика виробничого травматизму : Офіційний сайт Державної служби України з питань праці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dsp.gov.ua/category/diyalnist/travmatyzm-na-vyrobnytstvi/> (дата звернення 17.03.2019). – Назва з екрана.
3. Офіційний сайт Державної служби статистики України [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 20.03.2019). – Назва з екрана.
4. Директива № 89/391/ЄЕС Ради щодо запровадження заходів заохочення поліпшення безпеки та охорони здоров'я працівників на роботі / Верховна Рада України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_b23 дата звернення 20.02.2019). – Назва з екрана.
5. Polak-Sopinska, A., Wisniewski, Z., Jedraszka-Wisniewska, M. (2015) HR staff awareness of disability employment as input to the design of an assessment tool of disability management capacity in large enterprises in Poland. 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE 2015. Procedia Manufacturing, 3, 4836-4843.
6. Khvorost, M., Danova, K. Issues of occupational safety in the concept of professional integration of persons with special needs. International research and practice conference "Modern methods, innovations and experience of practical application in the field of technical science", Conference Proceedings, Radom, Republic of Poland, December 27-28 (2017), 217-220.
7. Данова К.В., Хворост М.В. Роль професійно-трудової реабілітації осіб із інвалідністю у контексті безпеки праці/ К.В. Данова, М.В. Хворост //Комунальне господарство міст. – Вип. 142. – Х.: ХНУМГ, 2018. – С. 119 – 124.
8. Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику : ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 (ІЕС/ISO 31010:2013, IDT). – К. : Мінекономрозвитку України, 2015. – 12 с.
9. SAE J1739_200208 Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA) and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.sae.org/standards/content/j1739_200208/ (дата звернення 17.03.2019). – Назва з екрана.
10. Питання медико-соціальної експертизи : станом на 03 груд. 2009р. / Постанова Кабінету Міністрів України від 3 грудня 2009 р. № 1317. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1317-2009-%D0%BF/page> (дата звернення 18.03.2019). – Назва з екрана.

Рукопис подано до редакції 02.04.2019

УДК 159.947.24

В.Г. КРЯЧКО, канд. екон. наук, доц.

Центральноукраїнський національний технічний університет

ОХОРОНА ПРАЦІ У ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ ЩОДО ЕМОЦІЙНОГО ВИГОРАННЯ НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ

Мета. У системі охорони праці вищих навчальних закладів недостатня увага приділяється заходам щодо запобігання формування у викладачів синдрому емоційного вигорання. За мету у статті поставлено дослідити формування стану емоційного вигорання, визначити фактори професійної діяльності, що викликають стан емоційного вигорання науково-педагогічних працівників та шляхи його попередження і усунення.

Методи дослідження. У статті використано загальнонаукові методи дослідження. За основу при проведенні дослідження було покладено системний підхід. За допомогою аналізу та порівняння виокремлено особливості професійної діяльності науково-педагогічних працівників, визначено фактори формування стану емоційного вигорання та шкідливі фактори виробничої діяльності. Метод узагальнення дав змогу визначити шляхи подолання формування стану емоційного вигорання у науково-педагогічних працівників.

Наукова новизна. У статті досліджено особливості професійної діяльності науково-педагогічних працівників, розкрито фактори, що впливають на формування стану емоційного вигорання їх у професійній діяльності.

Практична значимість. Виділено професійні особливості, зокрема, велика інтелектуальна, висока емоційна напруга, низька рухова активність, нерегламентований та нерівномірний графік роботи, можливість виникнення конфліктних ситуацій, інформаційне перенавантаження, потреба підвищеної уваги та концентрації, що впливають на формування стану емоційного вигорання науково-педагогічних працівників. Визначено шкідливі фактори виробничої діяльності відповідно до законодавства з охорони праці.

Результати. Надані пропозиції щодо організації роботи служби охорони праці стосовно профілактики і подолання стану емоційного вигорання у вищих навчальних закладах сприятиме покращенню емоційно-психологічного стану працівників та підвищенню ефективності навчального процесу.

Ключові слова: охорона праці, емоційне вигорання, професійне вигорання, симптоми емоційного вигорання, напруження, резистенція, виснаження, науково-педагогічні працівники, професійна діяльність науково-педагогічних працівників

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-41-48

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Охорона праці передбачає комплекс заходів, що забезпечують відповідність вимогам чинного законодавства з охорони праці як окремих робочих місць так і виробничого процесу в цілому. Як галузь людської діяльності, охорона праці є системою різноманітних (у тому числі і лікувально-профілактичних) заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності. Виходячи з цього, метою охорони праці є створення безпечних умов трудової діяльності людини, забезпечення її працездатності на високому, ефективному рівні. Важливим аспектом діяльності системи охорони праці, якому приділяється недостатня увага, є заходи щодо запобігання стану емоційного вигорання працівників.

Аналіз досліджень і публікацій. Синдрому емоційного вигорання присвячено дуже багато досліджень науковців - психологів, педагогів, медиків, економістів, соціологів, сфера інтересів яких простягається від вивчення сутності, причин та наслідків цього явища до особливостей його формування у різних галузях економіки та окремих професіях. Емоційне вигорання як психологічне явище досліджували В. Бойко, Н. Водоп'янова, В. Грищук, М. Лаврова, В. Орел та інші.

Деякі автори (І.М. Асєєва, О.С. Асмаковець, О.В. Грищук, М.А. Кузнєцов, О.В. Пономаренко, Ф. Джонс) досліджували індивідуальну здатність людей боротися з вигоранням та виявили обернену залежність розвитку стану емоційного вигорання від індивідуальної здатності опору вигоранню. Серед науковців є такі, які крім негативного впливу на людину у синдромі емоційного вигорання вбачають плюси. Так, на думку Н.А. Карпенко та М.І. Баранюк "плюси емоційного вигорання в тому, що воно дозволяє людині економно і дозовано використовувати свої енергетичні ресурси." [1].

Розглядаючи професійні аспекти емоційного вигорання, науковці досліджують як особливості за окремими професіями так і за основними напрямками діяльності. Одним з найскладніших напрямів діяльності людини з точки зору психо-емоційного навантаження є професії суб'єкт-суб'єктного типу, тобто ті, які прямо пов'язані з спілкуванням людей між собою під час виконання професійних обов'язків (вчителі, лікарі, соціальні працівники, працівники правоохоронних органів та ін).

Особливості формування синдрому емоційного вигорання медиків досліджували К.В. Аймедов, Т.М. Воротняк, Ю.П. Жогно, О.К. Колоскова, Н.М. Маляр-Газда, І.І. Назаренко, М.І. Поліщук. Професійні особливості та їх вплив на емоційний стан працівників державних установ розглядали Я.В. Загребельна, Т.В. Матієнко, Л.І. Матвієнко, І.В. Піголенко та інші. Велика схильність до емоційного вигорання мають працівники юриспруденції та правоохоронних органів (юристи, адвокати, слідчі, судді), як це доведено у працях Н.І. Баранюк, Н.А. Карпенко, Л.М. Леженіної та інших. Формування синдрому емоційного вигорання у працівників сфери інформаційних технологій розкрито у праці О.В. Шнайдер, а працівників рятувальних служб у праці І.І. Назаренко.

Дослідженню синдрому емоційного вигорання педагогічних працівників свої праці присвятили також багато вчених, однак в них переважно розглядалась професійна діяльність вчителів, проблему викладачів вищих навчальних закладів досліджували лише деякі з них [2, 3, 4]. Особливості формування стану емоційного вигорання у викладачів вищих навчальних закладів детально було досліджено у працях Н.А. Чепелевої, Ю. Терлецька вивчала вплив емоційного ви-

горання викладачів на ефективність фахової діяльності, а О. Чичкан та Р. Грицай – використання методів фізичної культури у боротьбі із станом вигорання.

Постановка задачі. Аналіз досліджень проблематики емоційного вигорання показав, що переважно стан емоційного вигорання розглядають як об’єкт науки психології. Беззаперечно, сутнісну характеристику стану емоційного вигорання пояснює психологія. Однак, питання виходу з цього стану є компетенцією і медицини, а попередження, профілактика його розвитку (зокрема, професійного вигорання) – охорони праці. З цієї точки зору стан емоційного вигорання практично не досліджено, що пояснює вибір напряму дослідження у статті та його актуальність.

Об’єктом дослідження у статті є професійна діяльність науково-педагогічних працівників вищих навчальних закладів. Предмет дослідження - формування синдрому емоційного вигорання науково-педагогічних працівників вищих навчальних закладів у процесі професійної діяльності. Мета дослідження — визначити фактори професійної діяльності, що викликають стан емоційного вигорання науково-педагогічних працівників та шляхи його попередження і усунення.

Викладення матеріалу та результати. Оскільки емоційне вигорання формується під впливом сукупності факторів індивідуально-психологічних особливостей особистості та специфічних особливостей професійної діяльності його можливо розглядати з різних точок зору. Стан емоційного вигорання прямо пов’язаний із погіршенням стану здоров’я людини, тому цю проблему можна розглядати з медичної точки зору. Разом з тим, причини, що обумовлюють виникнення стану емоційного вигорання (професійної втомленості) пов’язані з професійною діяльністю людини, а тому ця проблема повністю знаходиться у полі зору системи охорони праці. Якщо система охорони здоров’я займається лише лікуванням вже наявної проблеми, то система охорони праці може і повинна попередити її появу.

Відповідно до статті 1 Закону України “Про охорону праці” охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров’я і працездатності людини у процесі трудової діяльності [5]. Отже, створення умов праці, що запобігають розвитку синдрому емоційного вигорання працівників, рівноцінно входять до комплексу заходів створення безпечних умов праці.

Сутність роботи у вищій школі полягає у взаємодії науково-педагогічного складу з колективом молоді з метою надання їм знань, керування, допомоги та сприяння в отриманні цих знань і оволодінні професією. Специфіка роботи у вищій школі полягає у необхідності враховувати психологічні особливості даної вікової групи людей (студентів). Психологічними особливостями молоді є: підвищена емоційність; енергійність; психологічне становлення; гормональний розвиток.

Враховуючи вищезазначені характеристики молоді, на противагу ним для забезпечення ефективного навчального процесу викладач повинен володіти такими психологічними характеристиками, які дозволили б йому: бути врівноваженим; бути спокійним; бути привітним; володіти собою.

Забезпечуючи належний власний психологічний стан, викладач повинен виконувати свої безпосередні професійні обов’язки – доступно донести до студентів навчальний матеріал. Крім проведення навчального процесу викладачі вищих навчальних закладів вагому частку часу приділяють науковій та методичній роботі. Це вимагає підвищених зусиль і нервового напруження, що також свідчить про складність викладацької роботи.

Професійна діяльність науково-педагогічного персоналу характеризується високою часткою в ній процесу спілкування, характерним для неї є: велика інтелектуальна напруга; низька рухова активність; висока емоційна напруга; нерегламентований та нерівномірний графік роботи; можливість виникнення конфліктних ситуацій; інформаційне перенавантаження; напруга пам’яті; потреба підвищеної уваги; потреба підвищеної концентрації.

Всі вищезазначені особливості професійної діяльності педагогічних працівників вищих навчальних закладів потребують від них підвищеної уваги і концентрації та сприяють формуванню синдрому емоційного вигорання. За результатами дослідження Ю. Терлецької за методом багатофакторного регресивного аналізу емоційне вигорання чинить значний негативний вплив на ефективність фахової діяльності викладачів вищої школи [3].

Синдром емоційного вигорання — це процес поступового втрачання емоційної, пізнавальної та фізичної енергії, що виявляється в ознаках емоційного та інтелектуального виснаження, фізичної втоми, особистої відстороненості та зменшення почуття задоволення від виконаної роботи [6]. Емоційне вигорання викладача вищої школи — це “процес утрати ним позитивних емоцій, фізичної й інтелектуальної активності, емоційного контакту зі студентами, колегами та іншими людьми й одночасно процес розвитку байдужості до їх проблем, емоційної холодності у стосунках із ними, ригідності, почувань втоми, спустошеності, розчарованості, деформації особистісних властивостей і якостей” [3].

Дослідження науковців уточнюють, що емоційне вигорання — це динамічний процес і виникає поетапно, у повній відповідності з механізмом розвитку стресу, коли в наявності є всі три фази стресу: нервово напруження, резистенція (опір) та виснаження; що синдром емоційного вигорання розвивається в процесі професійної діяльності у формі стереотипу емоційного поведінки, який проявляється в особливостях професійного спілкування [7].

Синдром емоційного вигорання визначається наступними компонентами: напруженням, резистенцією та виснаженням.

Стан напруження є початковою стадією формування синдрому емоційного вигорання, сигналом про запуск цього процесу. Стан напруження утворюється внаслідок хронічної несприятливої, нестабільної психоемоційної атмосфери, наявності загострених обставин, підвищеної відповідальності, незадовільної взаємодії з оточуючими.

Резистенція характеризується захисною поведінкою людини, намаганням відгородитися від наявних проблем та зовнішніх впливів. Від цієї фази залежить чи відбудеться подальший розвиток стану емоційного вигорання чи від успішно буде подоланий.

Якщо опір людини не мав результату, настає стан виснаження, який характеризується втратою всіх психічних, психологічних, емоційних ресурсів, зниженням емоційного тону. У такому стані людина має ослаблену нервову систему, знижену функцію імунної системи, що може спричинити появу різних психосоматичних захворювань. На цьому етапі синдром емоційного вигорання перестає бути суто психологічною проблемою, а стає причиною втрати фізичного здоров'я.

Характеристика кожної з компонент синдрому емоційного вигорання представлена на рис.1.



Рис. 1. Компоненти синдрому емоційного вигорання

У законодавстві України з охорони праці відсутня пряма інформація стосовно синдрому емоційного вигорання. Детально дослідивши сутність стану емоційного вигорання, яке детально описує наука психологія та причин, що його викликають, ми з впевненістю можемо конста-

тувати, що у професійній діяльності стан емоційного вигорання викладачів вищих навчальних закладів спричиняють фактори напруженості трудового процесу, які визначені Гігієнічними нормативами ГН 3.3.5-8-6.6.1-2002 «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 27.12.2001 № 528 [8].

На роботу викладачів вищих навчальних закладів впливають такі показники напруженості трудового процесу, що визначені ГН 3.3.5-8-6.6.1-2002 «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу»: інтелектуальні навантаження; сенсорні навантаження (зорового апарату, на голосовий апарат); емоційне навантаження.

Вищезазначені фактори ніяким чином не враховуються при організації охорони праці у вищих навчальних закладах, а формування синдрому емоційного вигорання викладачів фактично знаходиться поза зоною уваги.

У своїх дослідженнях Щербан Т. Д. виявила обернену залежність між стажем роботи і наявністю синдрому емоційного вигорання у фахівців у сфері економіки [9, с.56], що свідчить про здатність людей у процесі набуття професійного досвіду виробляти власну методику психологічного самозахисту. Вважаємо, що така залежність існує і для інших сфер діяльності та професій. Наскільки людина може протистояти вигоранню залежить від її особистісних якостей, рівня розвитку інтелекту, свідомості, але забезпечення нормального психо-емоційного стану людини у процесі виконання професійних обов'язків є компетенцією і зобов'язанням служб охорони праці або осіб, на яких покладено відповідні функції.

Служба охорони праці вищих навчальних закладів повинна крім загальновизначених законодавством задач, враховувати специфіку професійної діяльності викладачів та вживати заходів щодо зниження психо-емоційної напруги. Робота служби охорони праці щодо вирішення проблем емоційного вигорання викладачів повинна проводитися, на нашу думку, у двох напрямках: по-перше, аналіз емоційно-психологічного стану викладачів, по-друге, заходи щодо профілактики розвитку вигорання.

У вищих навчальних закладах доцільно мати фахівця – психолога для надання консультацій викладачам та студентам і допомоги у вирішенні проблем при формуванні стану вигорання. Наявність емоційного вигорання у студентів доведено науковцями [7, 10], що посилює необхідність психолога у вищих навчальних закладах.

Однією із форм профілактики емоційного вигорання на думку О. Чичкан [4], з якою ми цілком погоджуємося, є залучення викладачів до занять фізичним вихованням або спортом. Кожна людина має дбати про своє здоров'я та самостійно приділяти увагу спорту, однак саме для викладачів вищих навчальних закладів доцільно організовувати таку можливість у межах закладу. Кожен навчальний заклад має кафедру фізичного виховання (а, отже і кваліфікованих фахівців), спортивний зал, спортивні майданчики, тобто всі передумови для реалізації можливості фізичної активності для викладачів. Крім фізичних навантажень доцільно залучати викладачів до участі у культурних та творчих заходів (концертів, конкурсів, виставок). Такі заходи зазвичай проводяться у навчальних закладах, але викладачі часто їх ігнорують або, у кращому випадку, є лише глядачами.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Процес навчання у вищих навчальних закладах можна розглядати як специфічний виробничий процес, де продукуються нові висококваліфіковані кадри та паралельно здійснюється вплив на особистісне становлення і свідомість молоді. Цей процес характеризується показниками напруженості праці, які визначені та закріплені відповідними нормативами, однак, при організації охорони праці у вищих навчальних закладах повністю ігноруються.

У результаті дослідження висунуто пропозиції, які можуть допомогти удосконаленню організації роботи науково-педагогічних працівників з точки зору охорони праці у навчальних закладах, що сприятиме покращенню емоційно-психологічного стану працівників та підвищенню ефективності навчального процесу.

Подальші дослідження у цьому напрямку будуть присвячені аналізу заходів, що вживаються у вищих навчальних закладах службами охорони праці щодо попередження формування стану емоційного вигорання та їх ефективність.

Список літератури

1. Карпенко Н. А. Емоційне вигорання керівних працівників ОВС / Н. А. Карпенко, Н. І. Баранюк // Науковий вісник Львівського державного університету внутрішніх справ. серія психологічна. - 2012. - Вип. 1. - С. 151-163.
2. Чепелева, Н. А. Психологические особенности эмоционального выгорания преподавателей высших учебных заведений : дис. ... канд. психол. наук : 19.00.01 / Чепелева Наталья Александровна ; Краматорский экономико-гуманитарный институт. — Краматорск, 2010. — 195 с.
3. Терлецька Ю. Вплив емоційного вигорання викладачів вищої школи на ефективність їх фахової діяльності [Електронний ресурс] / Ю. Терлецька // Педагогіка і психологія професійної освіти. - 2016. - № 2. - С. 85-94. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pippo_2016_2_12
4. Чичкан О. Профілактика синдрому "Емоційне вигорання" у викладачів ВНЗ засобами фізичного виховання / О. Чичкан, Р. Грицай, А. Кучма // Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 15 : Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт). - 2015. - Вип. 5(1). - С. 264-267.
5. Закон України "Про охорону праці" від 14.10.1992 № 2694-ІХ [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
6. Хекхаузен Х. Мотивация и деятельность / Х. Хекхаузен // пер. с нем. под ред. Б. М. Величковского. — М.: Педагогика, 1986. — 406 с.
7. Щербан Т.Д., Габлик В.В. Емоційне вигорання працівників у сфері економіки // Международный научный журнал // Психологические науки. 2015. - № 8. — с.54-57.
8. ГН 3.3.5-8-6.6.1-2002 «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 27.12.2001 № 528 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>
9. Щербан Т. Д. Емоційне вигорання фахівців у сфері економіки / Т. Д. Щербан, В. В. Габлик // International scientific journal. - 2015. - № 8. - С. 54-57
10. Аймедов К. В. Синдром емоційного вигорання студентів-медиків [Електронний ресурс] / К. В. Аймедов, Ю. П. Жогно // Медична освіта. - 2013. - № 3. - С. 6-10. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mosv_2013_3_3

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 004.415.25

А.В. ПЕРЕВЕРЗЄВ, д-р техн. наук, проф., В.Е. АРУТЮНЯН, аспірант
Запорізький інститут економіки та інформаційних технологій

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У РІШЕННІ ЗАДАЧ СИСТЕМ МАСОВОГО ОПОВІЩЕННЯ, ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ

Мета. Аналітичний огляд сучасних систем масового оповіщення: алгоритмів роботи систем, їх переваг та обмежень, можливостей модернізації та подальшого використання.

Методи. В роботі представлені різноманітні методи та технології побудови сучасних систем масового оповіщення населення з використанням сирен електронного та механічного типу, пневмосирен, телебачення, сайтів, мобільних додатків для девайсів потерпілих. В огляді представлено опис алгоритму роботи кожної системи, її цілі, технології використання, переваги та обмеження. Також проаналізовані завдання по вдосконаленню і можливості модернізації представлених систем.

Наукова новизна. Елементом наукової новизни є аналіз переваг та недоліків представлених в огляді систем, які необхідно враховувати при розробці систем масового оповіщення на основі мобільних додатків: J-ALERT – супутникова система, що працює в Японії; IPAWS – інтегрована система масового попередження та оповіщення в США і RSO – Регіональна система оповіщення (Польща).

Практична значимість. Результати представленого аналітичного огляду дозволять враховувати недоліки подібних систем при їх використанні та при розробці сучасних алгоритмів та програмних комплексів оповіщення населення у надзвичайних ситуаціях.

Результати. Представлені в аналізі системи використовують застарілі методи оповіщення і передачі даних населенню, не мають необхідної точності і можливості динамічних змін сповіщень для конкретного абонента; не використовують зворотний зв'язок від користувачів до системи, корисні функції смартфонів. У IPAWS відсутні додатки для мобільних девайсів, смартфони використовуються тільки для отримання push-повідомлень і sms. J-ALERT, як і RSO не мають зворотнього зв'язку від потерпілих через мобільні пристрої, через це – гнучкі і динамічні зміни в оповіщенні населення при зміні різних чинників загрози або переміщенню потерпілих в процесі евакуації є неможливими. Врахування означених недоліків є важливим для реалізації ряду функцій в програмному комплексі, які можливо використовувати як окремий компонент системи масового оповіщення або як додатковий модуль до вже існуючих систем.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, система масового оповіщення населення, мобільний додаток, супутникова система, повідомлення про оповіщення, протокол, програмно-апаратний комплекс.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Однією з актуальних областей наукових досліджень є сфера безпеки людства та своєчасного попередження про небезпеку різного характеру, а саме – системи масового оповіщення населення в надзвичайних ситуаціях. Розробка і модернізація сучасних систем є перспективним і орієнтованим на практичні дії комплексом заходів по зменшенню небезпеки лих при надзвичайних ситуаціях на місцевому, національному, регіональному і міжнародному рівнях. Однак, існуючі системи масового оповіщення не завжди в достатній мірі здатні відповідати техногенним викликам, природним катаклізмам, проблемам навколишнього середовища, які існують у сучасному світі. Крім цього, розвиток сучасних технологій дає безліч можливостей модернізації подібних програмних продуктів.

Аналіз досліджень і публікацій. А.А. Васильєв відзначає, що у більшості країн в системах оповіщення використовуються традиційні способи і засоби [1]. Гучне оповіщення за допомогою сирен є найпростішим і дешевим способом оповіщення населення про надзвичайні і критичні ситуації. Крім стаціонарних, використовуються мобільні системи оповіщення. В Японії знаходять застосування сирени на автомобілях. У багатьох країнах управління сиренами здійснюється як по провідних лініях зв'язку, так і по радіо. В Австрії, Великобританії, Ізраїлі, Франції, Німеччині, Швейцарії, Фінляндії та багатьох інших країнах система оповіщення працює за допомогою сирен, кількість яких досягає декількох тисяч по країні. В основному вони електронного або електромеханічного типу, тестуються від одного разу на місяць до декількох разів на рік. Ізраїль має більше 3100 сирен попередження, які використовуються, як правило, для попередження про повітряні нальоти і ракетні удари, здатні завдати шкоди цивільному населенню.

В роботі М.В. Носова проаналізовані основні показники та характеристика якості функціонування систем оповіщення в різних країнах. Наприклад, автор зазначає, що у Німеччині використовують сирени нового покоління – пневмосирени [2]. Вони відрізняються великою потужністю: площа ефективного озвучування міської території перевищує 10 км². Швейцарія має мережу з 8500 мобільних і стаціонарних сирен цивільної оборони, яка може попередити 99% населення. Є також система з 700 сирен, розташованих поблизу гребель. У Фінляндії розроблена електронна сирена великої потужності. Головною перевагою є те, що вона може працювати на батареях при порушенні централізованого електропостачання [2].

Постановка задачі. Стаття передбачає представлення аналітичного огляду сучасних систем масового оповіщення: алгоритмів роботи систем, їх переваг та обмежень, можливостей модернізації та подальшого використання.

Викладення матеріалу та результати. У даній статті в огляді представлені J-ALERT – супутникова система, що працює в Японії; IPAWS – інтегрована система масового попередження та оповіщення в США і RSO – Регіональна система оповіщення, яка працює в Польщі. Нами були обрані для аналізу саме ці системи, оскільки вони є найсучаснішими, масштабними і функціональними, використовують цікаві нам методи оповіщення.

J-ALERT – це супутникова система, що працює в Японії, яка дозволяє органам влади швидко передавати попередження місцевим ЗМІ та громадянам безпосередньо через систему гучномовців. За словами японських офіційних осіб, потрібно близько 1 секунда для інформування місцевих чиновників і від 4 до 20 секунд, щоб передати повідомлення громадянам. Усі попередження, крім попереджень про погану погоду, транслуються п'ятьма мовами. Інформація, отримана диспетчерським центром, надходить від FDMA (агентства по боротьбі з пожежами і стихійними лихами Міністерства внутрішніх справ і зв'язку), від цього агентства також надходять попередження про збройні напади, а дані спостережень про надзвичайні природні катаклізми виходять від Японського метеорологічного агентства (JMA) .

Цілі супутникової системи J-ALERT полягають в наступному: 1) поширювати інформацію про надзвичайні ситуації якомога більшої кількості японських громадян через гучномовець, особливо в разі землетрусів і ракетних запусків; 2) надавати громадянам інструкції з евакуації або рекомендації місцевих органів влади, попередження про повені та звіти про радіацію після ядерної аварії, а також дорожні умови і стан транспортних систем; 3) надавати публічну інфор-

мацію про сховища та притулки, а також іншу інформацію про евакуацію через певний період після великої катастрофи.

Система J-ALERT також інтегрується і передає оповіщення через канали мобільного інтернету, GSM, мобільного телебачення (ISDB-T). При виявленні тривоги за допомогою технології 1seg – мобільної цифрової наземної системи передачі даних з використанням стандарту ISDB-T – автоматично вмикаються телевізори та радіоприймачі в передбачуваній зоні ураження (за умови, що техніка підтримує цю технологію), щоб донести попередження до максимальної кількості людей. Також відбувається розсилка оповіщення через смс повідомлення. Всі мобільні пристрої третього покоління і новіші мають вбудовану систему оповіщення, щоб в автоматичному режимі приймати повідомлення про надзвичайні ситуації. На всі пристрої, що продаються в Японії, за замовчуванням встановлено програму "Area email" і "Emergency alert email", за допомогою яких і відбувається оповіщення. А якщо пристрої куплені не в Японії, ці програми необхідно встановити [6].

Перевагою даної системи оповіщення є використання всіх сучасних каналів зв'язку; вона також охоплює практично повністю територію Японії, використовує мобільні девайси і передачу даних за допомогою мережі Інтернет, що є перевагою системи. Обмеженням використання системи J-ALERT є відсутність зворотнього зв'язку від потерпілих через мобільні пристрої, так як стають неможливими гнучкі і динамічні зміни в оповіщенні населення при зміні різних чинників загрози або переміщенню потерпілих в процесі евакуації.

У США до недавнього часу існувало три окремих системи для масового оповіщення, які в процесі розвитку переформатовувалися і об'єдналися в систему IPAWS – інтегровану систему масового попередження та оповіщення, яка є змішаним типом програмно-апаратного комплексу, який об'єднує в собі системи національного аварійного оповіщення (EAS), бездротову систему оповіщення при надзвичайній ситуації (WEA) і систему масового оповіщення при погодних умовах NOAA Weather Radio, в рамках єдиної універсальної платформи [4]. Нова створена система призначена для інтеграції цих різних систем в одну сучасну мережу і також розвиває їх, щоб вони могли працювати з більш новими формами комунікації: стільникова телефонія і SMS, супутникове і кабельне телебачення, електронні рекламні щити та Інтернет [8]. Система дозволяє отримувати попередження від федеральних, державних і місцевих посадовців, а потім повідомлення поширюються по всім доступним каналам масового оповіщення, що входять до складу систем оповіщення. У 2010 році FEMA оголосила, що IPAWS буде використовувати Open Platform for Emergency Networks (OPEN) для переміщення попереджувальних та інформаційних повідомлень на основі стандартів між системами оповіщення і попередження [9].

Інтегрована система масового попередження та оповіщення з відкритою платформою для всіх національних оповіщувальних мереж (IPAWS-OPEN) – це IP-мережа, яка інтегрувала різні системи аварійного оповіщення у США. Її основна мета – підключати оповіщення відправників до сервера, який потім агрегує і поширює попередження в усі об'єднані системи оповіщення. Для вирішення свого завдання IPAWS-OPEN використовує протокол CAP (Common Alerting Protocol) – це протокол розширюваної мови розмітки (XML), прийнятий для підготовки кадрів даних певного формату при обміні повідомленнями оповіщення або попередження між аварійними системами. Даний протокол є міжнародним і прийнятий асоціацією відкритих стандартів в Інтернеті OASIS. CAP використовується в системі IPAWS, щоб надати учасникам можливість отримувати сповіщення через Інтернет за допомогою протоколу IP [7]. Він вніс безліч сучасних і ефективних функцій при передачі повідомлень в системах масового оповіщення: 1) гнучкий географічний таргетинг з використанням шкал широти і довготи, а також інших геопросторових уявлень в трьох вимірах; 2) багатомовну передачу повідомлень; 3) поетапне та відкладене на деякий час відправлення повідомлень; 4) розширені функції відновлення і скасування повідомлень; 5) підтримку готових шаблонів для створення повних і ефективних попереджувальних повідомлень; 6) можливість цифрового шифрування та використання електронного цифрового підпису; 7) вставку в повідомлення об'єктів цифрових зображень, аудіо та відео [10].

Серед завдань щодо поліпшення системи було поставлено три основні: 1) використовувати спеціальний код надзвичайної ситуації; 2) використовувати спеціальний код місця розташування; 3) розробити онлайн-систему звітів про тестування – Test Reporting System (ETRS). В цілому, тест 2016 року продемонстрував, що поширення попереджень через систему IPAWS з використанням протоколу Інтернету IP модернізувало всі системи масового оповіщення в США, що

значно поліпшило якість, ефективність і масштабованість всіх систем. Результати також показали, що оповіщення через IPAWS забезпечують чудове цифрове звучання і успішно доставляють попередження тим абонентам, які хотіли їх отримати іншою мовою. Після аналізу тестування системи IPAWS комісія внесла пропозицію заохочувати використання протоколу Інтернету IP в якості основного джерела оповіщень по всій країні, але при цьому зберегти оповіщення усіма іншими методами інших систем в якості надлишкового, надійного і необхідного альтернативного шляху оповіщення [11].

Основними перевагами системи масового оповіщення в США є її масштабність, обробка всіх найпоширеніших видів небезпеки, покриття всієї території США, використання протоколу Інтернету IP для передачі даних. Однак, в даному програмному комплексі відсутні додатки для мобільних девайсів, смартфони використовуються тільки для отримання push-повідомлень і sms, що в цілому, обмежує ефективність роботи системи.

Остання з представлених в нашому огляді систем – RSO – Регіональна система оповіщення, яка працює в Польщі. За допомогою RSO влада попереджає населення про прийдешні катастрофи по телебаченню, на своїх сайтах і через мобільні додатки. На телебаченні повідомлення з'являються у вигляді «біжучого рядка», що містять коротку інформацію про надзвичайні ситуації. А додатки, крім того, що розсилають повідомлення, містять інструкції і роз'яснення за наступними пунктами: евакуація, пожежі, повені і затоплення, епідемії і отруєння, екстремальні погодні явища, терор, стихійні лиха. RSO охоплює всю країну [3].

Додаток Free Regional Mobile Alert – це мобільний додаток для даного програмного комплексу, який надає доступ до повідомлень, що генеруються воєводськими центрами кризового управління воєводств по всій країні. Для конкретного повідомлення абоненту необхідно просто завантажити додаток RSO, а потім вибрати будь-яку адміністративну одиницю – періон. Доступні версії додатка наявні в магазинах для певних операційних систем (Android, iOS, WindowsPhone). Абонент може знайти ключове слово «RSO» і «Regional Alert System». Повідомлення з попередженнями, поширювані в RSO, охоплюють такі тематичні категорії: загальне (всі види небезпеки), метеорологічні види небезпеки, гідрологічні види небезпеки, стан води (використовуються датчики). Повідомлення (попередження) генерується центром управління кризою воєводства на веб-сайті воєводського офісу, потім в наземному цифровому телебаченні (регіональному телебаченні) і телефонних додатках та SMS (тільки найважливіші повідомлення).

З 2015 р RSO була розширена за допомогою SMS-каналу. Використання цього каналу є безкоштовним для користувача і не тягне за собою активацію такої послуги. RSO-SMS отримує будь-який абонент на свій мобільний телефон, який знаходиться в межах досяжності мережі за умови, що він не відключив цей параметр в налаштуваннях телефону [12].

Аналіз наявних результатів роботи RSO системи показав, що основною перевагою даної системи є використання мобільного додатку в системі оповіщення, що дозволяє відстежувати стан різних видів небезпеки в режимі онлайн. Обмеженням, в свою чергу, є відсутність зворотнього зв'язку від мобільних девайсів через мобільний додаток для більш гнучкої і точної роботи системи оповіщення.

В Україні у 2015 році Кабінет міністрів схвалив Концепцію розвитку та технічної модернізації системи централізованого оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій. Наразі система оповіщення працює за допомогою електросирен: сигнали електросирен і переривисті гудки інших сигнальних засобів означають попереджувальний сигнал оповіщення «Увага всім!», після якого мережею радіомовлення та місцевими каналами телебачення передається термінова інформація для населення про загрозу або виникнення надзвичайної ситуації. Цей варіант оповіщення є застарілим, ним слабо охоплена сільська місцевість, він не використовує сучасних технічних можливостей. Для масового інформування населення про надзвичайні ситуації мають використовуватись сучасні системи, які дозволяють робити розсилку за геолокацією, інформація повинна відправлятися за різними каналами, включаючи мобільні та фіксовані мережі зв'язку – в Україні такої системи наразі немає, а розроблена Концепція носить декларативний характер. Отже, вважаємо необхідною розробку сучасної системи сповіщення населення про надзвичайні ситуації за прикладом світових практик та з урахуванням сучасних технічних можливостей

Висновки та напрямки подальших досліджень. Аналіз існуючих систем масового оповіщення населення в надзвичайних ситуаціях показав, що на даний момент немає жодної впровадженої системи масового оповіщення, яка б використовувала корисний функціонал інтерактивних карт в своїх цілях. Більшість систем оповіщення використовують застарілі методи оповіщення і передачі даних населенню, не мають необхідної точності і можливості динамічних змін сповіщень для конкретного абонента; не використовують зворотний зв'язок від користувачів до системи, тим самим втрачаючи безліч корисних можливостей і вирішує лише одну загальну проблему щодо оповіщення населення, при можливості вирішення безлічі окремих проблем. Жодна з проаналізованих нами систем масового оповіщення в нашому огляді не використовує корисні функції смартфонів навіть частково, що, з нашої точки зору, не відповідає сучасним вимогам. Завдяки сучасним технологіям, існує можливість для реалізації ряду функцій в програмному комплексі, які можливо використовувати як окремий компонент системи масового оповіщення або як додатковий модуль до вже існуючих систем. На наш погляд, програмний комплекс повинен бути у вигляді клієнт-серверного рішення, подібний до того, який представлений в системі RSO Польщі, але з більш розширеним набором функцій. І в нашому дисертаційному дослідженні ми вирішуємо завдання розробки такої системи.

Список літератури

1. **Васильев А.А.** Сравнительный анализ систем оповещения о техногенных опасностях // <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/5575/5575.pdf>
2. **Носов М.В.** Основные характеристики и показатели качества функционирования систем оповещения населения // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2014. - № 2. – С. 14-18
3. Alert-IMGW oraz RSO // <http://antyapps.pl/alert-imgw/>
4. Alert Origination Software Providers // <https://www.fema.gov/alert-origination-service-providers>
5. Alert origination software providers // https://www.fema.gov/media-library-data/1513184978922-e4ac90300d4255f54d213b469cc64c24/Alert_Origination_Software_Providers_12072017.pdf
6. Civil Protection Portal Site of Japan // http://www.kokuminhogo.go.jp/en/pc-index_e.html
7. **Jones, E.** Organization for the Advancement of Structured Information Standards // https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1725-25045-4129/090415dm_sig_cap.pdf
8. Integrated Public Alert & Warning System // <https://www.fema.gov/integrated-public-alert-warning-system>
9. Memorandum of Agreement (MOA) with the Federal Emergency Management Agency (FEMA) // https://www.fema.gov/media-library-data/1438269192616-64f850f94ddc59227fe0c8612fb5900b/OpenDevelopers_07162015.pdf
10. National IPAWS EAS Test Final Report (2017) // https://www.fema.gov/media-library-data/1523303270960-0ddf8c45ca3eac68c4a4256c39da431c/2017_IPAWS_EAS_National_Test_Final_Report_FINAL.pdf
11. National IPAWS EAS Test Final Report IPAWS National Test of the Emergency Alert System (2017) // https://www.fema.gov/media-library-data/1504571521594-321936d30da02b5570a7fe005bdcdfbd/2017_IPAWS_National_Test_Statement.pdf
12. Regional Warning System [e-services] // <https://www.premier.gov.pl/mobile/en/news/news/regional-warning-system-e-services.html>

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 322.2

О.Є. КУЛІКОВСЬКА, д-р техн. наук, проф., Криворізький національний університет,
Ю.Ю. АТАМАНЕНКО, наук. співробітник, Донецький юридичний інститут МВС України,
О.К. КОПАЙГОРА, асист., ДонНУЕТ ім. Михайла Туган-Барановського

ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ У КАДАСТРОВІЙ ДІЯЛЬНОСТІ КРИВОГО РОГУ

Мета. Дослідження економічної ефективності кадастрових і земельнопорядних робіт із застосуванням новітньої геодезичної навігаційної техніки та електронних тахеометрів.

Методи. Розгляд зарубіжних публікацій дозволяє стверджувати, що простежується чітка тенденція до інтенсивного застосування сучасного геодезичного обладнання. Проте відсутній єдиний підхід до розв'язання окремих задач, наприклад, які прилади і методи варто ефективніше використовувати на практиці з метою удосконалення топографо-геодезичного та картографічного забезпечення кадастрових робіт. Немає також конкретних рекомендацій

щодо вживання методів із застосуванням портативних засобів спостережень, як і єдиних відомостей щодо досягнення відповідної точності результатів.

Наукова новизна. Сформульовано критерії ефективності використання геодезичного обладнання в умовах Криворізького регіону, представлено оцінку ефективності використання нової техніки і технологій на виробництві, проаналізовано використання новітньої геодезичної техніки, досліджено економічну ефективність кадастрових і землепорядних робіт із застосуванням електронних тахеометрів.

Практична значимість. Подано загальні напрями, які показали, що в умовах ринкових відносин кожне підприємство для забезпечення свого зростання і стабільності положення на ринку має проводити відповідну політику щодо капіталовкладень, здійснювати вибір пріоритетних напрямів технічного розвитку. Цей вибір здійснюється на основі оцінки ефективності обраних напрямленостей, що проводиться на стадіях планування і проектування своєї діяльності.

Результати. Виконано аналіз техніко-економічних показників топографо-геодезичного забезпечення кадастрових і землепорядних робіт, сформульовано критерії їх виробничої продуктивності, досліджено фактори, що впливають на їх ефективність, простежено виробничі ресурси підприємств, охарактеризовано основні інструментальні засоби, описано виконання робіт, розглянуто перспективи удосконалення технології виконання геодезичних та кадастрових робіт.

Ключові слова. геодезична техніка, фактори ефективності, техніко-економічні показники, ресурси, апаратура супутникових радіонавігаційних систем, електронні тахеометри.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-50-58

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. У теперішній час взаємозалежний поступальний розвиток науки і техніки є могутньою рушійною силою виробництва. Оскільки цей процес спрямований на економію всіх видів ресурсів – робочої сили, засобів і предметів праці, природних ресурсів, енергії, часу – у розрахунку на одиницю суспільного продукту, це є не що інше, як інтенсивний шлях розвитку.

Однією з основних умов реалізації інтенсивного шляху розвитку виробництва є капіталовкладення, які забезпечують процес відтворення основних фондів, що представляє собою витрати на будівництво нових, реконструкцію, розширення і технічне переозброєння діючих промислових підприємств і об'єктів. В умовах дефіцитності всіх факторів виробництва цей шлях є єдино правильним.

Аналіз досліджень і публікацій. Розгляд зарубіжних публікацій дозволяє стверджувати, що простежується чітка тенденція до інтенсивного застосування сучасного геодезичного обладнання [1–4]. Проте відсутній єдиний підхід до розв'язання окремих задач, наприклад, які прилади і методи варто ефективніше використовувати на практиці. Немає також рекомендацій щодо вживання методів із застосуванням портативних засобів спостережень, як і єдиних відомостей щодо досягнення відповідної точності результатів. Огляд публікацій [5, 6] дав змогу виявити загальні напрями, які показали, що в умовах ринкових відносин кожне підприємство для забезпечення свого зростання і стабільності положення на ринку має проводити відповідну політику щодо капіталовкладень, тобто здійснювати вибір пріоритетних напрямів технічного розвитку. Цей вибір здійснюється на основі оцінки ефективності обраних напрямленостей, що проводиться на стадіях планування і проектування своєї діяльності [7, 8].

Постановка задачі. Сучасна наука для вибору напрямків розвитку, проектування видів кадастрових робіт використовує маркетингові дослідження. Причому ці дослідження можуть бути спрямовані не тільки на вирішення питання, як вигідно продати продукцію, роботу, послуги, але і вигідно купити обладнання, прилади, технологію. У свою чергу, вибір технологій виробництва робіт безпосередньо пов'язаний з оцінкою їх ефективності, а для цього повинні мати місце обґрунтовані критерії оцінки ефективності, адаптовані до умов проведення кадастрових робіт. Від правильного вирішення цього питання залежать строки і вартість виконання таких робіт. Тому обрана тема є актуальною.

Виклад матеріалу і результати. У теперішній час змін зазнали методи і способи, які застосовуються в топографо-геодезичних роботах, які є невід'ємною складовою кадастрової діяльності [9–11]. Їх зміна відбулася практично миттєво під впливом таких факторів, як:

нові засоби вимірювань (ГНСС, електронні тахеометри і фототахеометри, цифрові нівеліри, лазерні сканери, лазерні трекери, радарні інтерферометри тощо);

програмне забезпечення (перехід до складніших і адекватніших моделей, використання строгих та числових методів);

автоматизація вимірювань (перехід від громіздких вимірювальних комплексів до компактних вимірювальних систем з можливістю інтегрування будь-яких засобів вимірювання).

При визначенні ефективності виробничої діяльності у кадастровому виробництві слід враховувати специфічні особливості, притаманні галузі. По-перше, фізико-географічні та економічні умови районів виконання робіт зумовлюють отримання різного економічного ефекту від використання одного і того ж виду нової техніки. Крім фізико-географічних умов місцевості на ефективність впливають економічні фактори, що склалися в районі проведення робіт: різна вартість матеріалів, транспортних послуг в різних регіонах країни; коефіцієнти до тарифних ставок і посадових окладів інженерно-технічних працівників; доплати за особливі умови робіт (високогір'я, відсутність води, виконання робіт у несприятливий період року та інші). По-друге, складний комплекс взаємопов'язаних виробничих процесів. Кожен виробничий процес (або ряд суміжних процесів) виконується спеціалізованою бригадою різними інструментами в різних (польових і камеральних) умовах. По-третє, унікальність нової техніки. В окремих наукових публікаціях [12,13] наводиться інший підхід до визначення факторів, що впливають на показники діяльності підприємств. При цьому відзначають такі: фізико-географічні, погодні, технічні, вартісні, технологічні.

Основними показниками, що характеризують ефективність використання основних виробничих фондів, є фондівдача, фондомісткість продукції і рентабельність основних виробничих фондів.

Економічний ефект від скорочення терміну виконання топографо-геодезичних робіт, що виникає в галузях за рахунок дострокового введення капітальних вкладень, розраховується за формулою

$$E_D = (K_m + K_D) E_n \Delta t, \quad (1)$$

де K_m – кошторисна вартість (капітальні вкладення) достроково виконаних топографо-геодезичних робіт; K_D – достроково введені в галузях капітальні вкладення.

Під критерієм економічної ефективності розуміють один з показників, за розміром якого судять про ефективність заходу, про відповідність кожного альтернативного варіанту мети. Порівнювати одночасно за двома показниками у загальному випадку неможливо. Тому один з двох показників фіксують, тобто приймають однаковим для всіх альтернативних варіантів, і тоді другий показник автоматично перетворюється на критерій економічної ефективності.

Можливі два варіанти: 1) максимізація корисного ефекту при обмеженнях на витрати $E \Rightarrow \max$; $3 < C\delta$; де $C\delta$ – гранично допустимий рівень витрат; 2) мінімізація витрат при заданому рівні корисного ефекту; $C \Rightarrow \min$; $E > E_3$; де E_3 – необхідний рівень корисного ефекту. Аналізуючи ці показники в динаміці, а також порівнюючи їх з відповідними показниками інших (обов'язково аналогічних) підприємств, можна визначити шляхи подальшого підвищення ефективності використання основних виробничих фондів підприємства.

Показники, використовувані для оцінки економічної ефективності нових технологій та обладнання в галузі топографо-геодезичного виробництва, не відрізняються від показників, що використовуються в інших галузях господарства. Перерахуємо їх: питомі капітальні вкладення; собівартість продукції (роботи); строк окупності капітальних вкладень або коефіцієнтами порівняльної ефективності; тривалість робіт; продуктивність праці.

Досвід, накопичений в області оцінки економічної ефективності, показує, що природні та економічні умови, діючі в районі проведення топографо-геодезичних робіт, роблять дуже великий вплив на отриманий коефіцієнт ефективності. Це обставина зберігає свою силу навіть в тому випадку, якщо вимірювання проводяться однаковими інструментами. Важливим показником економічної ефективності нової техніки є собівартість одиниці продукції (роботи), яка визначається шляхом ділення кошторисної вартості річного обсягу робіт на обсяг робіт у натуральному вираженні. Економічна ефективність нововведень техніки, в кінцевому рахунку, визначається тим, наскільки зменшилися затрати праці. В умовах сучасного суспільства, коли можливості вдосконалення виробництва практично не обмежені, постійно зростає ефективність витрат праці на підставі засобів виробництва. Технічна забезпеченість виробництва стає фактором, який більшою мірою впливає на величину суспільних витрат праці [14].

При оцінці фінансових витрат необхідно враховувати обсяг робіт, який може виконуватися за допомогою нововведеної техніки. Ці розрахунки можуть бути отримані шляхом зіставлення

витрат, витрачених на нову техніку і грошової суми, яка необхідна на виконання того ж обсягу робіт старою технікою. Згідно з формулою (2), нормативний термін окупності капітальних вкладень – величина зворотна коефіцієнту ефективності капітальних вкладень

$$T_n = \frac{1}{E_n}. \quad (2)$$

Відповідно до діючих нормативів, термін окупності капітальних вкладень в топографо-геодезичному виробництві дорівнює 7 рокам ($T_n = 7$ років), що відповідає коефіцієнту порівняльної економічної ефективності $E_n = 0,15$.

Оскільки технічні характеристики сучасних вимірювальних приладів різні, зазначений коефіцієнт при розрахунку економічної ефективності слід диференціювати. Величина терміну окупності додаткових капітальних вкладень, витрачених на впровадження нових вимірювальних приладів визначається за тією ж залежністю, що і при капітальному будівництві, тобто за формулою

$$T_0 = \frac{K_1 - K_2}{C_1 - C_2}, \quad (3)$$

де K_1, K_2, C_1, C_2 – питомі капітальні вкладення та собівартості одиниці продукції (роботи) відповідно по заміній і нововведеній техніці.

Показником використання техніки за часом служить коефіцієнт зайнятості. Він визначається як відношення фактичного часу використання нової техніки до нормативного показника і виражається в відсотках

$$K_z = \frac{T_\phi}{T_z} 100\%, \quad (4)$$

де T_ϕ – фактично використана кількість днів протягом передбаченого періоду; T_z – кількість робочих днів у цьому періоді. Це означає, що тривалість виконання робіт знаходиться в прямій залежності від продуктивності праці. Річний корисний фонд часу і річний обсяг робіт повинні розраховуватися з урахуванням виробничих завдань, які передбачається вирішити за допомогою нововведеної техніки.

Дослідженнями встановлено, що пропозиція вимірювальної техніки на ринку геодезичного інструменту в нашій країні поки не настільки велика, як в країнах ЄС, проте чималий вибір є. Компанії намагаються пропонувати максимально широку лінійку техніки. Вітчизняний ринок геодезичного обладнання сформований, в основному, з представництв і дилерських компаній зарубіжних виробників. На сьогоднішній день в Україні представлена продукція таких великих компаній, як Sokkia, Nikon, Topcon, Pentax (Японія), Leica Geosystems (Швейцарія), Agatec (Франція), Geo-Fennel, Laserliner, Nedo, Stabila (Німеччина), Trimble, CST (США), УОМЗ (Росія), Setl (Китай) та ін.

Відкритий доступ до реєстру апаратури супутникових радіонавігаційних систем дозволив провести розгорнутий аналіз цього обладнання, яке використовується підприємствами України, а зокрема і Кривого Рогу під час виконання топографо-геодезичного забезпечення кадастрових робіт. Встановлено, що сьогодні підприємствами, які здійснюють геодезичне забезпечення кадастрових робіт найбільше використовується обладнання американської фірми Trimble Navigation ltd, на другому місці знаходиться обладнання швейцарської фірми Leica Geosystems, на третьому місці – японське обладнання фірми Topcon Positioning Systems (рис. 1). Якщо за 100% прийняти всю апаратуру супутникових радіонавігаційних систем геодезичного коду 9015 і обчислити їх вагу за країною виготовлення, то можна стверджувати, що 50% припадає на США, 22% – Швейцарію, 16% – Японію. На ринку апаратури можна знайти і 10% приладів, які випускаються Китаєм, дуже незначною кількістю (всього 1%) представлені прилади Канадських та Німецьких фірм (рис. 2).

Основні види діяльності основних підприємств Кривбасу, що займаються кадастровою діяльністю, геодезичними і вишукувальними роботами, виконують оціночну практику такі: Центр Державного Земельного Кадастру, ДП «ДП «Кривбаспроект», ПП «Компанія Земсправа», ТОВ «Оцінка 24/7», ТОВ в «Дніпроземконсалт», ПП «Глобус-Мм»Пп «Геоніс», ТОВ «Кривбасстройсервіс», ТОВ «Пріма-Кр (Криконт-Гео)». Регіони виконання робіт – Кривий Ріг, Криворізький район, Україна, характерні для всіх без виключення організацій.

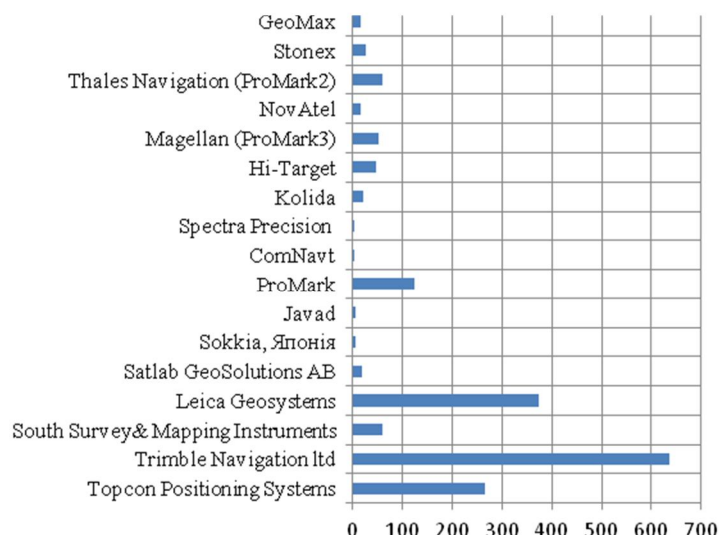


Рис. 1. Кількісний склад апаратури супутникових радіонавігаційних систем геодезичного коду 9015 в Україні станом на вересень 2018 р.

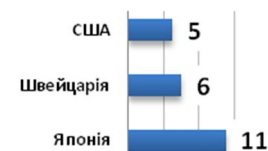


Рис. 2. Розподіл апаратури GNSS геодезичного коду 9015 за країною виготовлення

З'ясовано, що у теперішній час зазначеними раніш установами використовується 22 комплекти апаратури, з яких найбільшу частку складає японське обладнання Topcon Positioning Systems (11 одиниць). В той же час фахівцями виконуються вимірювання приладами Leica Geosystems, Trimble Navigation Ltd і Thales Navigation (табл. 1). Наявність детальної інформації Реєстру апаратури дозволила провести аналіз показників щодо реєстрації та придбання зазначеного обладнання за роками в Україні [15].

Таблиця 1
Узагальнені дані про GNSS-апаратуру установ м. Кривого Рогу для геодезичного забезпечення кадастрових робіт

Фірма-виробник	Кількість апаратури	Країна виробник	Фірма-виробник	Кількість апаратури	Країна виробник
Topcon Positioning Systems	11	Японія	Leica Geosystems	6	Швейцарія
Trimble Navigation Ltd	2	США	Thales Navigation (ProMark2)	3	США



З'ясовано, що починаючи з 2001 року підприємства почали закуповувати супутникове обладнання, а тільки з 2014 року в країні склали відповідний реєстр, в якому установи реєстрували свою апаратуру (рис. 3).

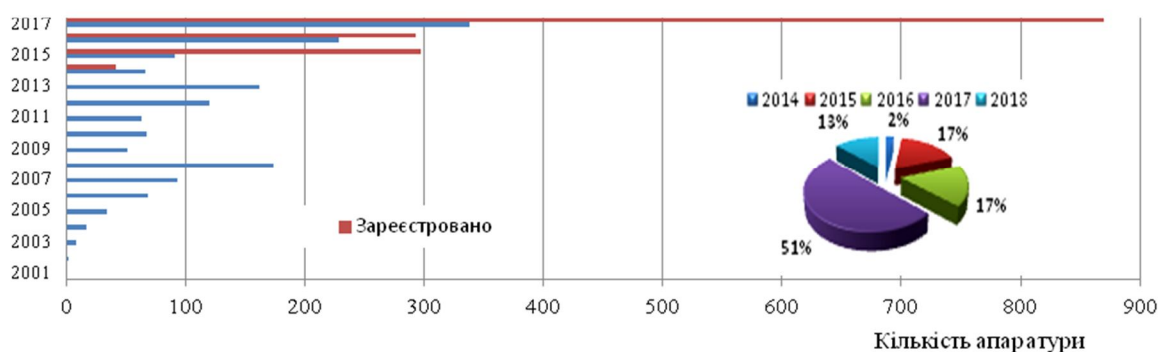


Рис. 3. Діаграма показників реєстрації та придбання апаратури в Україні за роками (2001–2018 рр.)

Якщо аналіз здійснювати у відсотковому відношенні, то 51% зареєстрованої апаратури за період 2014 – 2018 років припадає на 2017 рік, а для 2018 року характерно різке зниження показника реєстрації до 13%. Найменше зареєстровано апаратури у 2014 році.

Існує декілька основних способів створення цифрових просторових даних: оцифровка твердих носіїв (планшетів) за допомогою дигітайзера, векторизація растрових зображень існуючого матеріалу, векторизація аерофото- та супутникових знімків, топографічна зйомка. Кожен з цих способів має свої переваги і недоліки. Однак найбільш точна та актуальна інформація може бути отримана тільки при проведенні топографічної зйомки.

Слід зауважити, що при всіх очевидних перевагах отримання точної інформації це досить трудомісткий і далеко не найдешевший шлях створення цифрових даних. Але з іншого боку на сьогоднішній момент просто неможливо обійтися без знімальних робіт на місцевості при вирішенні завдань, що вимагають високої точності наданих даних – адже це роботи, що пов'язані з правовими угодами з землею, та роботи, пов'язані з будівництвом і проектуванням.

Одна з головних умов нормального функціонування ІС, правомірної роботи службовців для управління міським господарством – актуальність наявних даних і постійне їх оновлення у відповідності з поточними змінами. Внаслідок досить швидкої зміни ситуації, дані топографічних зйомок, отримані традиційними способами можуть застаріти ще на етапі обробки польових вимірювань, особливо при роботі з великими об'єктами. Часта аерофотозйомка не вирішує всіх питань при використанні її в процесі створення актуальних цифрових даних. Саме тому при проведенні кадастрових робіт постійно орієнтуються на найбільш продуктивні сучасні технології, які дають максимальний економічний ефект.

Вартість електронних тахеометрів досить висока. Тому прийняттю рішення про придбання приладів передують економічний аналіз ефективності застосування цієї апаратури, заснований на опублікованих в українських і зарубіжних наукових матеріалах. Варто зазначити, що практика підтвердила правильність проведених розрахунків.

Наведемо кілька прикладів економічного аналізу за основними типами робіт.

1. Створення планово-висотного обґрунтування, згущення мереж полігонометрії.

На виконання експериментальних вимірювань із застосуванням електронного тахеометра Sokkia SET 530, бригадою з двох осіб було витрачено 14 годин на польові вимірювання і 3 години на камеральну обробку отриманих даних, що в сумі становить 1,4 робочих дня. Вартість прокладання теодолітного ходу довжиною 2145 м від загальної кошторисної вартості (вартість усіх робіт становить 27650 грн.) склала 13800 грн.

Визначимо питому величину вартості робіт у день на людину

$$\frac{13,8 \text{ тис. грн.}}{2,8 \frac{\text{людино}}{\text{днів}}} = 4,93 \text{ тис. грн.} \cdot \frac{\text{людино}}{\text{днів}}.$$

При використанні електронного тахеометра Topcon GPT 3000 N, бригадою з двох осіб було витрачено 14,5 годин на польові вимірювання і 4 години на камеральну обробку отриманих даних, що в сумі становить 1,3 робочих дня.

Вартість прокладання теодолітного ходу довжиною 2145 км від загальної кошторисної вартості (вартість усіх робіт становить 27650 грн.) склала 13800 грн. Визначимо питому величину вартості робіт у день на людину

$$\frac{13,8 \text{ тис. грн.}}{2,6 \frac{\text{людино}}{\text{днів}}} = 5,31 \text{ тис. грн.} \cdot \frac{\text{людино}}{\text{днів}}.$$

У 2016 році в населеному пункті Широке (Криворізький район) проведено комплекс робіт із встановлення селищної межі. Площа території склала 2,97 кв. км. За допомогою GNSS приймачів було відновлено кілька зруйнованих пунктів полігонометрії, визначено втрачені координати деяких з них і закоординировано опорно-межові знаки (ОМЗ) нової селищної межі. Кошторисна вартість робіт склала 105 тис. грн., з них 35 тис. грн. на прокладання теодолітних ходів. Комплекс польових робіт із координування ОМЗ із застосуванням електронного тахеометра Sokkia SET 530 бригадою з трьох чоловік зайняв 5 днів, причому час на камеральну обробку склав 7 годин (без креслення планів). При використанні електронного тахеометра Topcon GPT 3000N бригадою з трьох чоловік зайняв 6 днів, час на камеральну обробку склав 10 годин (без креслення планів).

Визначимо питому величину вартості робіт у день на людину. При використанні тахеометра Sokkia SET 530: $(35 \text{ тис. грн.}) / ((5 \cdot 3) \text{ людино/днів}) = (35 \text{ тис. грн.}) / (15 \text{ людино/днів}) = 2,33 \text{ тис. грн.} \cdot \text{людино/днів}$. З використанням тахеометра Topcon GPT 3000N: $(35 \text{ тис. грн.}) / ((6 \cdot 3) \text{ людино/днів}) = (35 \text{ тис. грн.}) / (18 \text{ людино/днів}) = 1,94 \text{ тис. грн.} \cdot \text{людино/днів}$. Економія трудовитрат становить $18 \text{ людино/днів} - 15 \text{ людино/днів} = 3 \text{ людино/днів}$.

Отримаємо економію коштів при виконанні робіт на даному об'єкті:

$$1) \text{ за допомогою тахеометра Sokkia SET 530: } 3 \frac{\text{людино}}{\text{днів}} \cdot 2,33 \text{ тис. грн.} \cdot \frac{\text{людино}}{\text{днів}} = 6,99 \text{ тис. грн.};$$

$$2) \text{ за допомогою тахеометра Topcon GPT 3000 N: } 3 \frac{\text{людино}}{\text{днів}} \cdot 1,94 \text{ тис. грн.} \cdot \frac{\text{людино}}{\text{днів}} = 5,82 \text{ тис. грн.}$$

Таким чином, виконуючи роботи електронним тахеометром Sokkia SET 530, витрати на проведення робіт складуть менше, ніж виконуючи ту саму роботу тахеометром Topcon GPT 3000N. Економія коштів склала 1,17 тис. грн.

Найбільшу питому вагу в загальному обсязі робіт, займає встановлення і відновлення меж земельних ділянок. Проводиться інвентаризація земельних ділянок юридичних і фізичних осіб. Зазвичай це невеликі і середні ділянки з невисокою кошторисною вартістю і досить складними умовами зйомки (забудова, велика кількість поворотних точок). Для виносу об'єктів в натуру, розбиття нових кварталів і ділянок роботи виконуються електронним теодолітом-тахеометром. Для того, щоб охарактеризувати ступінь економічної ефективності проведення топографічних зйомок із використанням тахеометрів в роботі розрахований ряд економічних показників за реальними результатами роботи.

У розрахунках використано наступні показники:

$$\text{фондовіддача } \Phi_{\text{віддача}} = \frac{\text{Валова виручка (без НДС)}}{\text{Вартість обладнання}} = \frac{12228,68}{271824,62 + 5200,00} = 0,04;$$

$$\text{фондомісткість: } \Phi_{\text{віддача}} = \frac{\text{Вартість обладнання}}{\text{Валова виручка (без НДС)}} = \frac{27182,62 + 5200,00}{12228,68} = 23;$$

$$\text{продуктивність на 1 людину/день: } \text{Продукт.} = \frac{\text{Валова виручка (без НДС)}}{\text{Кількість відпрацьованих людино / днів}} = \frac{12228,68}{2} = 6114,34;$$

трудомісткість робіт для загальної кількості робочих днів у 2017 році – 249 днів:

$$\text{Продукт.} = \frac{\text{Кількість відпрацьованих людино / днів}}{\text{Валова виручка (без НДС)}} = \frac{249}{12228,68} = 0,02;$$

$$\text{рентабельність обладнання } R_{\text{обладнання (без податку на прибуток)}} = \frac{\text{Прибуток}}{\text{Вартість обладнання}}.$$

Якщо $\text{Прибуток} = \text{Валова виручка (без НДС)} - \text{Витрати}$, тоді $\text{Прибуток} = 12228,68 - 988,55 = 11240,13 \text{ грн.}$

$$\text{Отже, } R_{\text{обладнання (без податку на прибуток)}} = \frac{11240,16}{282224,62} = 0,040.$$

Рентабельність обладнання з урахуванням податку на прибуток складе

$$R_{\text{обладнання (з податком)}} = \frac{\text{Прибуток}(1 - 20\%)}{\text{Вартість обладнання}}, \text{ де } 1 - 20\% - \text{норма податку на прибуток (у частках одиниці),}$$

$$R_{\text{обладнання (з податком)}} = \frac{11240,16 (1 - 0,2)}{282224,62} = 0,032$$

При цьому термін окупності обладнання набуде значення із врахуванням вищевикладеного

$$T_{\text{окупності}} = \frac{\text{Вартість обладнання}}{\text{Прибуток}} = \frac{282224,62}{11240,16} = 25,1 \text{ років.}$$

Якщо припустити, що обладнання використовувалося підприємством тільки польовий сезон, тоді коефіцієнти його використання можуть бути представленими значеннями, які надано в табл. 2.

Цей показник побічно може характеризувати ефективність використання нової техніки. Сенс застосування цього коефіцієнта полягає в тому, щоб показати, як міг би збільшитися обсяг робіт при більш повного завантаження техніки. Так як геодезичне обладнання, на відміну від промислового устаткування і верстатів, використовується нерегулярно, то цей коефіцієнт менше одиниці. На практиці коефіцієнт використання нової техніки може бути нижче, ніж вже

використовуваної техніки. Це відбувається за рахунок недозавантаження високопродуктивного обладнання при недостатньому обсязі робіт.

Таблиця 2

Коефіцієнти використання обладнання в залежності від протяжності польового сезону
(кількість робочих днів у 2017 р. – 249)

Польовий сезон, міс	Польовий сезон, дні	Коефіцієнт використання	Графічне відображення
10	211	0,85	
9	193	0,78	
8	172	0,69	
7	150	0,6	
6	130	0,52	
5	108	0,43	
4	103	0,41	
3	82	0,33	

Висновки. Вищевикладене та наведені вище розрахунки дозволили зробити висновок: роботи з ведення кадастру носять характер природної монополії, так як розширення конкуренції в цій сфері діяльності веде до збільшення собівартості робіт через втрати ефекту економії на масштабі. Тому можна стверджувати про необхідність проведення кадастрових робіт на конкурентній основі є недостатньо обґрунтованим, теорія і практика показує, що впровадження нової високопродуктивної і дорогої техніки економічно ефективно тільки при великому обсязі робіт, не розпиленому по декільком невеликим організаціям.

Список літератури

1. **Войтенко С.П.** Проблеми управління територіями і формування кадастру в перехідний період / **С.П. Войтенко, М.О. Володін** // Інженерна геодезія. – 2002. – №47. – С. 22 – 27.
2. **Brunner F. K.** On the methodology of Engineering Geodesy / **F. K. Brunner** // Journal of Applied Geodesy. – Vol. 1, Issue 2. – P. 57–62, DOI: 10.1515/JAG.2007.008.
3. **Heunecke O.** Terminology and Classification of Deformation Models in Engineering Surveys // **O. Heunecke, W. Welsch** / Journal of Geospatial Engineering. – Vol. 2, No 1. – P. 34–44.
4. **Hucker R. A.** How Did the Romans Achieve Straight Roads? / **R. A. Hucker** // FIG Working Week 2009, Surveyors Key Role in Accelerated Development, Eilat, Israel, 3–8 May 2009.
5. **Kuhlmann H.** Engineering Geodesy - Definition and Core Competencies // **H. Kuhlmann, V. Schwieger, A. Wieser, W. Niemeier** / Journal of Applied Geodesy. – Vol. 8, Issue 4. – P. 327–334, DOI: 10.1515/jag-2014-0020.
6. **Антонович К.М.** Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии [Текст]. В 2 т. Т. 1. Монография / **К.М. Антонович** // ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». – М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 334 с.
7. **Беспалов Н.А.** Экономико-математические методы в топографо-геодезическом производстве [Текст] / **Н.А. Беспалов, А.И. Голубцов, А.А. Синдеев**. – Москва: Недра. – 1983. – 221 с.
8. **Бешелев С. Д.** Математико-статистические методы экспертных оценок [Текст] / **С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич**. – М.: Статистика, 1980. – 264 с.
9. **Васютинская С.И.** Особенности транзакционных издержек в геодезии // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2010. – № 2. – С. 99–103.
10. **Васютинский И.Ю.** Управление геодезическими предприятиями на основе их стоимости [Текст] / **И.Ю. Васютинский, А.С. Шайтура** // Изв. Вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2009. – №6. – С.84–86.
11. **Дао Ван Кхань.** Мировой опыт повышения эффективности геодезических работ и особенности технико-экономических расчетов в геодезии Вьетнама // Международная экономика. – 2015. – № 10. – С. 29–33.
12. ДБН в.1.3-2:2010. Геодезичні роботи у будівництві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://profdom.com.ua/v-1/v-1-3/1289-dbn-v-1-3-22010-geodezichni-roboti-u-budivnictvi/>. – 01.03.2019. – Назва з екрану.
13. **Васютинский И.Ю.** Экономика топографо-геодезического производства. – М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 2001. – 201 с.
14. **Кігель В. Р.** Методи і моделі підтримки прийняття рішень у ринковій економіці: монографія [Текст] / **В.Р. Кігель**. – К.: ЦУЛ, 2003. – 202 с.
15. Реєстр апаратури супутникових радіонавігаційних систем геодезичного коду 9015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://land.gov.ua/info/reistr-aporatury-suputnykovykh-radionavhatsiinykh-system/>. – 01.03.2019. – Назва з екрану.

Рукопис подано до редакції 05.04.2019

УДК 669.1.017.3: 661.88

Д. Ю. БАБОШКО, аспирант, Г.Г. ГУБИН, канд. техн. наук, доц.,
Л.Н. КРАВЧУК, ст. преподаватель, Криворожский национальный университет
В. Г. ГУБИНА, канд. геол.- минерал. наук, ст. научн. сотр.
Институт геохимии окружающей среды НАН Украины
С.Н. ЗИМА, канд. геол.- минерал. наук, ст. научн. сотр., ПАО НИПИ "Механобрчермет"

ПИРОМЕТАЛЛУРГИЯ ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ КОРЕННЫХ КОМПЛЕКСНЫХ РУД

Актуальность. Статья посвящена результатам изучения титаномагнетита Кропивенского месторождения Украины и разработке его карботермической технологии восстановления. Товарными продуктами такой технологии, использующей в качестве основного оборудования кольцевую печь с вращающимся подом, являются гранулированный легированный чугун и титаносодержащий шлак.

В настоящее время в Украине разрабатываются только месторождения россыпных титаносодержащих руд, запасы которых с каждым годом заметно уменьшаются. Введение в эксплуатацию коренных комплексных месторождений решит проблему замещения истощающихся запасов россыпных руд.

При обогащении коренных руд Кропивенского месторождения образуется значительное количество титаномагнетитового промпродукта, который при дополнительной доработки не может быть использован ни в доменных печах для получения чугуна и ни для производства титана. Поэтому актуальным является разработка технологий пирометаллургического дообогащения титаномагнетитового промпродукта. Исследования физико-химических и структурных превращений.

Цель работы. Целью работы является исследования физико-химических и структурно-фазовых превращений при пирометаллургическом дообогащении титаномагнетитового промпродукта, для установления параметров производства железосодержащих и титаносодержащих товарных продуктов.

Методы исследования. Для решения поставленной цели привлекался комплекс экспериментальных и расчетных методов: микроскопический для определения минералогического состава и строения титаномагнетитового промпродукта; спектральный анализ - для изучения химического состава зерен титаномагнетита; структурно-текстуальный анализ - для оценки новообразованных фаз при карботермическом восстановлении; рентгено-флуоресцентный анализ для оценки изменения химического состава железосодержащего и титаносодержащего продуктов; статистические методы для обработки результатов исследований. Так же использовались вспомогательные методы - макро- и микрофото съемки, компьютерная обработка текстового, цифрового и графического материала.

Научная новизна. Научная новизна одержанная авторами состоит в следующем: дальнейшее развитие получили представления о структуре зерен магнетита; впервые при карботермическом восстановлении установлены и определены структурно-фазовые превращения минерального состава титаномагнетитового промпродукта с содержанием TiO_2 более 20%; впервые определено, что формирование железосодержащего и титаносодержащего продуктов с максимальным извлечением в них металлического железа и двуокиси титана обеспечивается при условии двухступенчатого процесса восстановления; определено, что формирование и образование металлических гранул; определено, что формирование и образование металлических гранул происходит благодаря возникновению диффузии, аутогезии и поверхностного натяжения, что приводит к коалесценции металлического железа.

Практическое значение. На основании экспериментальных исследований показано, что при карботермическом восстановлении в кольцевой печи с вращающимся подом титаномагнетитового промпродукта с массовой долей TiO_2 более 20% установлены технологические параметры производства товарных продуктов: гранулированного чугуна с содержанием 92-96, 5% железа, 3,4-3,7% углерода, 0,5% ванадия и титанового шлака с 50-55% диоксида титана и 7,4-8,4 закиси железа.

Результаты. Внедрение разработанной технологии для переработки коренной руды апатит-титаномагнетит-ильменитового состава, в частности Кропивенского месторождения обеспечит получение экономического эффекта, в среднем за один год 164,5 млн грн.

Ключевые слова: россыпи, коренные руды, титаномагнетит, ильменит, углерод, восстановление, металлическое железо, титаносодержащий шлак.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-58-64

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время традиционные источники железосодержащего металлургического сырья начинают замещаться комплексными рудами, которые могут в значительной степени удовлетворить потребности производства не только железосодержащих, но и других необходимых и важных продуктов, например титаносодержащих.

Украина обладает большими запасами комплексных богатых титаномагнетитовых руд, а разработанные технологии их обогащения позволяют получать титаномагнетитовый концентрат с массовой долей TiO_2 16-22%.

В настоящее время проведены исследования термохимической технологии обработки таких концентратов с массовой долей TiO_2 до 16%. В связи с истощением запасов эксплуатируемых в настоящее время россыпных руд следует разработать инновационную технологию переработки титаномагнетитовых концентратов с массовой долей TiO_2 более 20% с использованием кольцевой печи с вращающимся подом.

Анализ исследований и публикации. В настоящее время подобные руды перерабатываются в ряде стран но больше всего в ЮАР. За последнее время значительное количество исследований проведено в Российской Федерации. Однако это относится в основном к рудам и концентратам содержащим не более 6-9% TiO_2 тогда как в нашем случае, например при обогащении коренных руд Кропивенского месторождения, массовая доля TiO_2 составляет более 20%.

Предметом данной статьи является пирометаллургическая технология дообогащения титаномагнетитовых концентратов из коренных комплексных руд с целью получения из них товарных продуктов

Постановка задачи. Для определения оптимальных параметров процесса термохимической переработки титаномагнетитовых концентратов коренных комплексных руд необходимо изучить закономерности текстурно-структурных и минералогических преобразований минеральных зерен компонента.

Изложение материала и результаты. Украина имеет большие возможности для повышения своей роли в мировой титановой промышленности. Запасы Украины только по ильмениту и рутилу оцениваются в 30 % от мировых [1].

Поставщиками сырья для производства титанового пигмента являются Иршанский горно-обогатительный комбинат и Вольногорский горно-металлургический комбинат, которые перерабатывают россыпные месторождения. Из концентратов этих предприятий получают пигменты низкого качества и имеющего ограниченный спрос. Выходом из такого положения является привлечение к переработке коренных ильменитовых руд, из которых можно производить высококачественные и конкурентоспособные пигменты. На территории Украины расположено несколько месторождений комплексных коренных фосфор-титано-железосодержащих руд которые в настоящее время не разрабатываются в то время как они могли бы полностью удовлетворять потребность страны в титановом и апатитовом сырье.

Над технологией обогащения и переработки руд Носачевского, Стренигородского, Федоровского и Кропивенского месторождений работали сотрудники институтов "Механобрчермет", "Титана", "Минеральных удобрений и пигментов", "Кривбасспроект", а также представители предприятий "Кривбассгеология", Центр геология "ТАКО", ООО "Теофаб" и ЧПП "Сириус".

Разработаны технологии обогащения сырья с отдельной переработкой титаномагнетитовой, ильменитовой частей руд коренных месторождений Украины [2]. В результате обогащения руды Кропивенского месторождения было получено пять продуктов:

титаномагнетитовый концентрат (95,5 % титаномагнетита) с содержанием основных компонентов, масс. %: $Fe_{общ}$ - 53,0; TiO_2 - 23,35; V_2O_5 - 0,654; Cr_2O_3 - 0,033;

ильменитовый концентрат (94 % ильменита) с содержанием: $Fe_{общ}$ - 36,1 %; TiO_2 - 47,5 %; V_2O_5 - 0,060 %;

плагиоклазовый продукт (95 % плагиоклаза);

оливин-пироксеновый продукт (87,3 % оливина и пироксена в сумме).

Все конечные продукты обогащения по своему составу и характеристикам отвечают требованиям, предъявляемым к такому сырью.

Предметом данной статьи является пирометаллургическая технология дообогащения титаномагнетитовых концентратов с целью получения из них товарных продуктов [3].

Предварительно было подробно изучены минералогическо-петрографические особенности титаномагнетитового концентрата полученного при обогащении апатит-титаномагнетит-ильменитовой руды Кропивенского месторождения. При этом применялись следующие методы исследования: микроскопический, спектральный, структурно-текстурный, рентгенофлуоресцентный анализы и статистические методы обработки полученных результатов. Так как титаномагнетит преобладает над другими минералами в концентрате (95 %), то тщательному изучению подверглись зерна магнетита.

Установлено, что зерна титаномагнетита, обособлены в пространстве, имеют такой же размер (от 0,03 до 0,6 мм) как и ильменит и часто находятся в сростках с ним (рис 1а,б,в).

Редкие зерна титаномагнетита гомогенной структуры, чаще они представляют собой агрегат из двух и больше минеральных фаз, срastaются между собой на очень тонком, субмикронном уровне, будучи элементами структур распада твердого раствора.

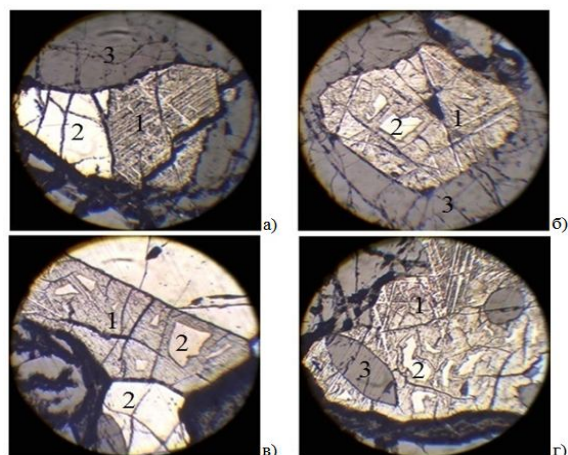


Рис. 1. Особенности структуры титаномагнетитовых зерен: *а* - рудное зерно: слева - ильменит, справа - решетчатая структура титаномагнетита; *б* - октаэдрические кристаллы «титаномагнетита» со структурой распада твердого раствора и реликтовыми включениями ильменита; *в* - ильменит в виде свободных зерен, реликтовых включений и пластинок в структуре распада твердого раствора в зерне «титаномагнетита»; *г* - пластинчатый ильменит, полуохлажденные реликтовые зерен ильменита, включение кристаллов апатита в титаномагнетите.

1 - решетчатая структура титаномагнетита; 2 - ильменит (цвет кремовое); 3 - апатит и силикаты (различные оттенки серого)

К титаномагнетитам Кропивенского месторождения относятся обособленные зерна (по сути агрегаты из двух-четырех минеральных фаз) химический состав которых определяется содержанием FeO , TiO_2 и Fe_2O_3 , имеющих высокие магнитные свойства. В свою очередь, титаномагнетитовые зерна характеризуются наличием разных минеральных фаз: магнетит, ильменит и в незначительном количестве Al-Mg шпинели, которые образовались после распада твердого раствора. Соотношение данных фаз в зернах титаномагнетита разное.

Магнетит образует основу матрицы зерна, в которой находятся пластинчатые выделения ильменита или ульвошпинели и микрочерны "реликт-ильменита" (см. рис. 1). Пластинчатые выделения ильменита или ульвошпинели, в основном имеют толщину до 2-3 мкм. Отдельные зерна титаномагнетита имеют пластинчатые выделения ильменита или ульвошпинели размером до 8-10 мкм. При этом наблюдаются зерна титаномагнетита с разной структурой насыщения и размером выделений (пластинок) ильменита или ульвошпинели (рис. 1*а,б* и 2*а,б*). Для титаномагнетита характерна ориентация пластинок согласно октаэдрической отдельности в магнетите, нередко с образованием решетчатых структур (рис. 1*а*).

Микрочерны "реликт-ильменита" нередко частично оплавлены, иногда одинокие, а чаще сконцентрированы в группы (рис. 1*б,в,г*). Размер включений микрочерн составляет 0,05-0,1 мм. Наличие микрочерн "реликт-ильменита" обуславливает высокое (до 25 %) содержание в зерне TiO_2 .

Также для исследованного титаномагнетита характерно присутствие большей концентрации ванадия, чем в ильмените. Это объясняется тем, что железо имеет тесную кристаллохимическую связь с ванадием, а так как ильменит имеет меньшую долю железа, то и концентрация ванадия в нем меньше [4].

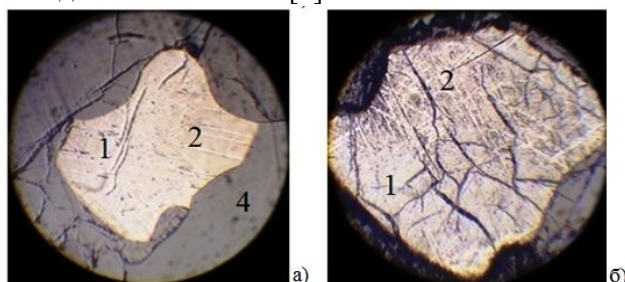


Рис. 2. Взаимоотношения ильменита и титаномагнетита в совместных вкраплениях: *а* - пластинчатые включения ильменита в титаномагнетите; *б* - однородный титаномагнетит (нижняя часть зерна), переходит в структуры распада с пластинками ильменита (верхняя часть зерна).

1 - титаномагнетит (кремовое с красноватым оттенком); 2 - ильменит (белый с сероватым оттенком), 3 - сульфиды железа (белое), 4 - апатит и силикаты (различные оттенки серого)

Знание структуры, химического и минералогического состава титаномагнетита позволило приступить к определению температурно-временных параметров карботермического восстановления, обеспечивавшего минимизацию потерь со шлаком и наиболее полное извлечение TiO_2 в титаносодержащую фазу.

Исследование карботермического восстановления окатышей из титаномагнетитового концентрата позволило установить последовательность превращений минералов при их тепловой обработке.

Экспериментально показано, что процесс восстановления железа из титаномагнетитовых зерен концентрата начинается при температуре 900 °С и завершается при температуре плавления ильменитовой части титаномагнетитового зерна, что соответствует 1470-1500°С. В начале восстановления наблюдается процесс изменения железосодержащих минералов и структуры рудных зерен титаномагнетита, вблизи поверхности которых образуется мелкая вкрапленность металлического железа. С повышением температуры до 1300°С происходит восстановление магнетитовой матрицы зерна, а металлическое железо мигрирует в межзерновое пространство и там формирует железную губку. На месте рудного зерна остается "ильменитовая сетка", которая возникла в результате восстановления магнетита. Повышение температуры до 1470-1500°С способствует восстановлению железа до металла и выносу его из ильменитовой части зерна. Образовавшееся железо мигрирует из внутренних слоев продукта и присоединяется к образовавшейся на периферии металлической фазе.

Для обеспечения необходимых технологических показателей следует соблюдать не только температурный режим, но и временной. Так нагрев до 1300°С следует вести со скоростью 20 °С/мин и выдерживать при конечной температуре 15-20 минут. Нагрев же от 1300 до 1470-1500°С надо вести со скоростью 50°С и обеспечить выдержку в течение 5 мин при конечной температуре.

На рис. 3 приведена схема карботермического восстановления титаномагнетитовых окатышей.

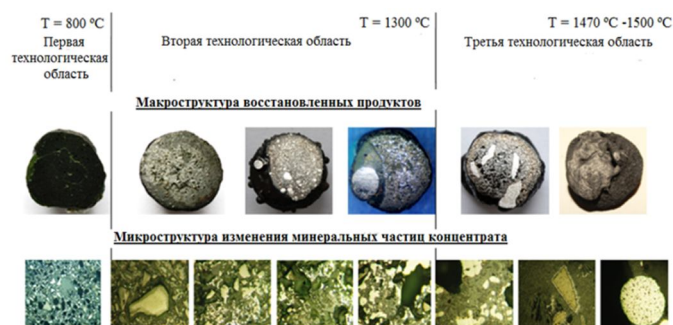


Рис. 3. Схема структурно-фазового превращения при карботермическом восстановлении окускованного титаномагнетитового концентрата

Результаты, полученные в лабораторных условиях, были проверены на укрупненной установке, на печи с вращающимся подом, что позволило подтвердить принципиальные положения карботермического процесса восстановления титаномагнетитовых окатышей.

На основании полученных экспериментальных данных была разработана для проектирования технологическая схема цепи аппаратов (рис. 4) для производства товарного титанового шлака и гранулированного легированного чугуна.

Используя такую технологию для твердофазного карботермического восстановления окатышей из титаномагнетитового концентрата Кропивенского месторождения можно получить два товарных продукта: титаносодержащий шлак с содержанием 50-55% TiO_2 и гранулированный чугун с 92-96,5 % Fe, 3,4-3,7 % C, 0,5 % V и 0,2 % Ti.

Основным оборудованием для осуществления разработанной технологии является кольцевая печь с вращающимся подом.

Конструкция кольцевых печей известна сравнительно давно, так она применялась металлургии для нагрева трубных и кольцевых заготовок перед прокаткой. В настоящее время кольцевая шахтная печь используется на металлургическом комбинате АрселорМиттал Кривой Рог для обжига известняка.

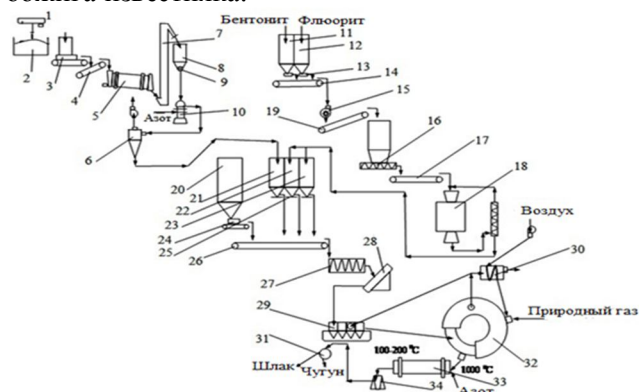


Рис. 4. Принципиальная схема цепи аппаратов переработки титаномагнетитовых концентратов Кропивенского месторождения: 1 - грейферный кран; 2 - склад угля; 3, 12, 13, 24, 28 - питатель ленточный; 4, 14, 17, 19 - конвейер ленточный; 5 - сушильный комплекс; 6 - блок циклонов; 7 - элеватор цепной; 8, 11, 20-23 - расходный бункер; 9 - роторный питатель; 10 - вертикальный мельница; 15 - молотковая дробилка; 16 - питатель шнековый; 18 - комплекс измельчения; 25 - питатель тарельчатый; 26 - чашевый окомкователь; 27 - смеситель Lodige; 29 - сушило; 30 - теплообменник; 31 - барабанный магнитный сепаратор; 32 - печь с вращающимся подом; 33 - охладитель; 34 - инерционная дробилка

В 60-70 годах минувшего столетия в г. Кулив, штат Миннесота (США) была спроектирована, построена и начала эксплуатироваться фабрика производительностью 2,4 млн т/год обожженных окисленных окатышей. Фабрика была оборудована кольцевой печью диаметром 30,5 м.

Американской фирмой МакКи также были спроектированы кольцевые печи четырех типоразмеров: 50, 61, 70, и 91,5 м. Годовая производительность первых трех типоразмеров для обжига окатышей из магнетитовых концентратов должна была составить 4,57; 5,07 и 6,1 млн т соответственно. Наибольшая же печь предназначалась для производства окатышей из гидрогетитового концентрата и ее производительность была рассчитана на 4,57 млн т затраты на топливо и электроэнергию кольцевых печей должны были быть ниже, чем на обычных конвейерных обжиговых машинах. В результате ожидалось, что затраты топлива снизятся на 10 %, а расход воздуха на 30 % [5].

В 1970 г. институт "Механобрчермет" (Кривой Рог, Украина) спроектировал и построил на своей опытной фабрике пилотную установку с кольцевой печью для металлизации окатышей [5,6]. Под печи был 6,2 м², внешний диаметр 3,8 м, внутренний диаметр 0,43 м, ширина рабочего пространства 0,93 м, высота рабочего пространства 0,92 м, ширина пода 1,16 м, скорость вращения 0,55-2,43 об/мин. Печь восстанавливая окатыши из магнетитового концентрата СевГОКа с 64,9 % железа. Температура в зоне металлизации была 1150-1160 °С. Производительность печи составляла 20 т/час, степень металлизации ~30 %.

При испытаниях не стремились получить высокую степень металлизации и не доводили окатыши до расплавления, т.к. целью испытаний было получение окатышей пригодных для дальнейшего их использования в доменной плавке.

По представлениям того времени металлизированные окатыши должны были использоваться в доменных печах в качестве металлдобавки. Опытно-промышленные плавки в США свидетельствовали, что каждые 10 % металлизации шихты до 50 % приводили к приросту производительности доменной печи на 4-7 % снижению расхода кокса на 5-7 %.

В данное время концепция производства и использования такого сырья изменилась, считается, что окатыши должны иметь высокую степень металлизации для замены скрапа в электроплавильных печах и чугуна в кислородных конвертерах. Поэтому конечный продукт в кольцевых печах стали пытаться получать или в виде высокометаллизированных окатышей как, например, в процессе Inmetco, или чугуновых корольков, как в процессе ITmk3 [5].

Известно, что шихтовые материалы с повышенной массовой долей TiO₂ не могут переплавляться в доменных печах.

Традиционная технология переработки титаномagnetитовых концентратов начинается с их окискования и восстановительной плавки в открытых или закрытых электродуговых печах мощностью 3,5-20 МВА. При этом происходит восстановление оксидов железа, получают чугун и титанистый шлак. Чугун обычно легирован ванадием, поэтому его подвергают специальной плавке дуплекс-процессом, при которой получают два товарных продукта: ванадиевый шлак и микролегированную сталь. Производительность трехфазных печей мощностью 5-10,5 МВА составляет 35-50 т в сутки титанового шлака. Удельный расход электроэнергии достигает 2000-2500 кВт·ч/т шлака. Температура передела 1650-1750 °С. Угольная футеровка непригодна. Подину выкладывают магнезитовым кирпичом, стены защищают гарнисажем из тугоплавкого шлака.

Задача рудотермической плавки - получить богатый титановый шлак и чугун. Чтобы избежать разбавления шлака и лишних расходов, флюсы применяют редко. Плавку ведут или периодически, или непрерывно.

В первом случае в шлаках удается оставить всего 5 % монооксида железа, а во втором 8-15 %, но непрерывный передел производительнее. Для увеличения производительности и снижения расхода энергии шихту подогревают в трубчатых печах, что снижает расход энергии на плавку 1 т шлака до 1750 кВт·ч. Для экономии электроэнергии шихту не только подогревают, но и предварительно восстанавливают на 50 % или даже 85-95 %.

Сейчас разработка и развитие процессов бескоксовой металлургии железа позволяет коренным образом изменить аппаратное оформление и технологию восстановительной плавки титаномagnetитовых материалов для получения титанового шлака.

Как уже упоминалось, одну из таких технологий рекомендуется применять для переработки титаномagnetитового сырья с использованием кольцевых печей с вращающимся подом.

Например, в Российской Федерации появился ряд интересных патентов и экспериментальных работ, в которых рекомендовано применять такие печи [7-9]. Недостатком исследовательских работ является использование титаномагнетитовых руд и концентратов содержащих не более 16 % TiO_2 , а чаще всего и того меньше 3-9 %. Концентраты коренных руд Украины, например, Кропивенского месторождения содержит более 20 % TiO_2 , поэтому требуют создания специфических условий для успешной их переработки чему и посвящена данная статья. Определение оптимальных условий карбовосстановительной технологии в кольцевых печах, позволят получать два рентабельных товарных продукта: легированный, гранулированный чугуны и титаносодержащий шлак, по одностадийной технологической схеме и меньшим расходом энергии, чем по традиционной технологии.

Технико-экономический расчет с использованием современной методики показал, что предприятие, которое планируется построить по рекомендациям разработчиков предлагаемой технологии, будет иметь срок окупаемости капитальных инвестиций с учетом трех лет строительства 7,91 год (за 4,91 год эксплуатации). Такие результаты расчета могут оказаться привлекательными для инвесторов. Кроме лабораторных экспериментов, были проведены испытания на пилотной установке диаметром 2,09 м Ингулецкого горно-обогатительного комбината. Результаты этих испытаний подтвердили данные расчетов и лабораторных исследований [3].

Выводы и направление дальнейших исследований. 1. Установлено, что титаномагнетитовый концентрат из руды Кропивенского месторождения это не твердый раствор магнетита и ильменита, а механическая смесь субмикронных частиц и пластин ильменита в зернах магнетита, т.е. магнетит является матрицей, а ильменит наполнитель. Такая структура приводит к первоочередному восстановлению магнетита.

2. Изучение особенностей строения зерен титаномагнетита и поведения их при карботермическом восстановлении позволило предложить технологию переработки этих концентратов с получением железных и шлаковых товарных продуктов.

3. Выбранные температурно-временные параметры работы кольцевой печи обеспечивают высокое извлечение железа в гранулированный чугуны и не допускают значительного разубоживания титаносодержащего шлака.

4. Как показали экономические расчеты ожидается снижение энергетических затрат на предлагаемую технологию переработки этих концентратов с получением товарных железистых и шлаковых продуктов.

Список литературы

1. Губин Г.В., Олейник Т.А., Татаринцов Ф.Г. Современное состояние мирового и внутреннего рынка титана// Разработка рудных месторождений КТУ. – Вып. 90. – Кривой Рог, 2006. – С. 100-105.
2. Олейник Т.А. Анализ разработанных технологий обогащения комплексных коренных титаносодержащих руд Украины// Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг, 2007. – Вып. 18. – С. 92-96.
3. Губин Г.В., Ткач В.В., Губин Г.Г., Орел Т.В., Губина А.Г., Снегур Я.Я. Инновационные технологии восстановительной плавки титановых концентратов. Вісник КТУ. Вип.20. –2008. – С.74-78.
4. Зима С.Н., Бабошко Д.Ю. Особенности титаномагнетита Кропивенского месторождения Волыни. Горный журнал Казахстана, № 10, 2015. – С. 4-7.
5. Губин Г.В. Сучасні промислові способи без коксової металургії заліза / Г.В.Губін, В.О.Півень // – Кривий Ріг. – 2010. -336с.
6. В.Ф.Бернадо, Н.Н.Бережной, В.А.Бугаенко и др. Оптимальный режим металлизации окатышей в кольцевой печи. Бюллетень Центрального научно-исследовательского института информации и технико-экономических исследований черной металлургии, №123 (656), 1971. – С. 22-24.
7. Пат. № 2238989 Российская Федерация, C22B1/243, C22B34/12. Способ обработки титаножелезистых материалов и устройство для его осуществления / Рымкевич Д.А., Кобелев В.А., Смирнов Л.А. и др. // Открытое акционерное общество “АВИСМА титано-магнелиевый комбинат”; заявл. 02.10.2003; опубл. 27.10.2004, Бюл. № 30.
8. Пат. № 2318899 Российская Федерация, C22C 33/00, C22B34/12. Способ переработки титаномагнетитов / Серба В.И., Фрейдин Б.М., Калинин В.Т., Майоров Л.А. и др. // Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра Российской академии наук; заявл. 07.07.2006; опубл. 10.03.2008, Бюл. № 7.
9. Пат. № 2399680 Российская Федерация, C21B13/08. Способ металлизации титаномагнетитовых концентратов с получением железных гранул и титанованадиевого шлака / Макаров Ю.В., Садыков Г.Б., Самойлова Г.Г., Минин В.Г. // Общество с ограниченной ответственностью “Ариком”; заявл. 10.03.2010; опубл. 20.09.2010, Бюл. № 26.
10. А. В. Асанов. Твердофазная металлизация продуктов полученных из титаномагнетитовых руд/А. В. Асанов, А. В. Рошин, В. Е. Рошин//Вестник ЮУрГУ. Серия "Металлургия". – 2010. – Вып. 14. - № 13 (189). – С. 32-36.
11. Л.А. Майоров. Новый подход к технологии карботермического восстановления титаномагнетита. //Материалы научной конференции "Научно-практические проблемы химии и технологии комплексного использо-

вання мінерального Кольського полуострова". Апатиты, 2007. - С.95-100.

12. В. А. Ровкушин., Б. А. Боковиков, С. Г. Братчиков, Бескоксовая переработка титановых руд. – М.: Металлургия, 1985. – 247 с.

13. Л. И. Леонтьев, Н. А. Ватолин, С. В. Шаврин и др. Пирометаллургическая переработка комплексных руд. М: Металлургия. – 1997. - 431 с.

Рукопись поступила в редакцию 14.02.19

УДК 004.358:621.186.1

О.В. ЗАМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., Б.М. ЛІТОВКО, канд. техн. наук, доц.,
М.І. ШЕПЕЛЕНКО, аспірант, Криворізький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ ВІДЦЕНТРОВОГО СЕПАРАТОРА КРАПЛИННОЇ ВОЛОГИ

Мета. В гірничій промисловості, зазвичай використовують систему підготовки стисненого повітря, яке являється основним видом енергії для механізації елементів пневмозабезпечення, таких як пневматичні бурильні машини, відбійні молотки і т.д. Існує проблема постійного забруднення при транспортуванні стисненого повітря від турбокомпресора до споживача. Для забезпечення необхідної надійності та збільшення періоду експлуатації система пневмозабезпечення потребує використання додаткового устаткування для підготовки стисненого повітря. Доцільно в даному випадку використовувати контактну схему охолодження повітря.

Методи. У науковій праці розглянуті основні принципи 3D-моделювання об'єкту дослідження. В якості об'єкта візуалізації була обрана модель відцентрового сепаратора краплинної вологи. Даний апарат проектується та виготовляється в складальному виконанні. Дослідження моделі проводилось з використанням методу кінцевих елементів та методами математичної статистики для обробки даних. Використання імітаційного моделювання як бази для дослідження сепараційних об'єктів дозволяє значно скоротити час та ресурси на виготовлення об'єкта досліджень. Обґрунтованість та достовірність роботи обумовлена аналітичними та експериментальними методами досліджень, які були проведені на віртуальних моделях.

Наукова новизна полягає у встановленні закономірностей раціональних конструктивних та технологічних параметрів сепаратора. Завдяки створенню зменшеної моделі відцентрового сепаратора краплинної вологи, який є частиною апарату контактної системи охолодження стисненого повітря та на її основі виготовлено макетну модель, що дозволить встановити раціональні параметри відцентрових краплевлівлювачів системи пневмозабезпечення гірничого устаткування.

Практична значимість. Результати цієї роботи мають практичне значення, так як одержані в ній дані дають змогу збільшити ефективність стандартного обладнання, яке використовується на гірничих виробництвах нашого регіону.

Результати. Робота супроводжується віртуальною моделлю апарату, з допомогою якої є можливим виготовлення прототипу для лабораторного дослідження сепарації. Дана модель відповідає характеристикам реальних об'єктів та процесів.

Ключові слова: повітроохолоджувач, турбокомпресор, відцентровий сепаратор, газорідинна система, краплинна волога, моделювання.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-64-68

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Основною задачею на промислових підприємствах є дотримання політики максимального енергозбереження. Саме поглиблений аналіз структури виробництва енергетичних ресурсів та їх розподілу між виробничими технологіями дає можливість досягнути найбільшого енергозбереження.

В теперішній час важко вказати галузь промисловості, в котрій не використовувалось стиснене повітря. Його застосування обумовлене енергетичною політикою та зміною в енергетичній структурі балансу виробництва. Також використання стисненого повітря має ряд переваг з технічної та економічної точки зору. Завдання його виготовлення та розподілу поміж пневмоприймачами до теперішнього часу являється актуальним, так як дане виробництво вагомо впливає на енергетичну складову собівартості продукції.

При підготовці стисненого повітря та розподілу поміж пневмоприймачами виробництва витікає проблема в його постійному забрудненні. Як відомо, при транспортуванні стиснутого повітря в повітропроводі та подачі повітря в збірники повітря, воно охолоджується, що приводить до конденсації мастила та вологи. Також повітря, яке буде використане, вмішує в собі механіч-

ні домішки (пил). Для забезпечення необхідної надійності та збільшення періоду експлуатації система пневмозабезпечення потребує використання додаткового устаткування для підготовки стисненого повітря. Доцільно в даному випадку використовувати контактну схему охолодження повітря, а саме апарати типу «труба Вентурі – сепаратор краплинної вологи».

Процес охолодження та очищення стисненого повітря в апаратах такого типу безпосередньо заснований на контакті часток пилу та крапель розпиленої води, з її подальшою сепарацією.

При дослідженні та проектуванні процесів сепарації в газорідній суміші мають широке розповсюдження загальні засоби обчислень. Зазвичай виконання таких досліджень перетворюється в складну задачу, що потребує значної кількості часу та сил, тим паче якщо виникає потреба дослідити процеси сепарації в реальному промисловому об'єкті, який зазвичай має складну конструкцію та значні габарити. Складні розрахунки та їх закоснілий характер не дають можливості повною мірою звернути увагу на основну мету проектування – сприйняття складних процесів, які протікають в устаткуванні та взаємозв'язків між параметрами та характеристиками. Складність загальних засобів обчислень не дає можливості здійснювати поглиблені дослідження, оптимізувати різноманітні параметри та характеристики, створювати або модернізувати реальне теплотехнічне устаткування. Розробка адекватних фізичних моделей, можлива при переході від складних розрахунків до засобів автоматизованих систем проектування.

Аналіз досліджень і публікацій. Як згадувалось вище присутність вологи в стисненому повітрі є невід'ємною складовою при контактному охолодженні повітря, яку необхідно відокремити при без посередньому використанні повітря, так як вона негативно впливає на надійність обладнання.

Фізичний вплив надмірної кількості вологи в початковому повітрі полягає в забитті отворів та сопел вологою, кригою та твердими частинами; у змиві мастила; в пошкодженні мембран, золотників; в зношуванні робочих елементів. Хімічний вплив надмірної кількості вологи в початковому повітрі полягає в корозії металевих деталей, руйнуванні покриттів та гумових деталей розчинами кислот.

Питання зменшення загального вологовмісту повітря досліджувались в роботах Федорова Ю.І., Дегтярьова В.І., Лободи В.В. [1,2], Галюжина А.С. [3], Алієва Г.М. [4,5], Кобельова Н.С. [6], Брусиловського І.В., Бушель А.Р., Носова А.Я. [7], Квагінідзе В.С., Фірсова А.Л., Акіменко В.В., Бобровського Д.А. [8] та ін.

Постановка завдання. Використання труб Вентурі в мокрій газовій очистці знайшло широке розповсюдження. Це пояснюється рядом переваг: очищення від пилу є одночасно швидким та ефективним, при достатньо простій конструкції апарату. Процес пиловловлення безпосередньо заснований на контакті часток пилу та крапель розпиленої води, з її подальшою сепарацією. В основі такого методу стоять багаторазові повторювальні фізичні процеси взаємодії крапель та частин пилу в момент проходження суміші через елементи скрубера Вентурі [9].

До недоліків скруберів Вентурі можна віднести те, що відомі методи розрахунку ефективності роботи даних очисних приладів не дають повністю урахувати фактори уловлення краплин вологи. Також дане устаткування практично не розглядається в роботі з підвищеним тиском [10,11]. Існуючі методи розрахунку не в повній мірі описують процес вологовідділення, тому доцільним є пошук більш точних способів опису сепарації гетерогенної суміші.

Викладення матеріалу та результати. Як описувалось вище, для забезпечення необхідної надійності та збільшення періоду експлуатації система пневмозабезпечення потребує використання додаткового устаткування для підготовки стисненого повітря. Доцільно в даному випадку використовувати контактну схему охолодження повітря. В такому виді устаткування процес охолодження та очищення стисненого повітря безпосередньо заснований на контакті часток пилу та крапель розпиленої води, з її подальшою сепарацією. Сепаратор краплинної вологи в даному випадку має вагоме значення, так як недопустимою є подальша подача повітря з надмірною вологою в пневмоприймачі. Дана конструкція сепаратора була запропонована М.І. Великим, О.В. Замыцким, Б.М. Літовко, В.А. Трегубовим [12]. Сепаратор є частиною повітроохолоджувача ВКС-658. В такому апараті охолодження стисненого повітря протікає при безпосередньому контакті повітря з водою, внаслідок чого утворюється гетерогенна суміш, яка потребує сепарації. Використання контактної системи охолодження є доцільним на відміну від традиційної поверхневої. Про це свідчить ряд переваг: такий контактний апарат поєднує досить високу ефективність тепломасообміну з відносно невеликим гідравлічним опором; невисоку вартість

виконанні, до завершення програми або закінчення її роботи.

Дана модель (рис.2а) відповідає запропонованим креслярським розмірам та може використовуватись для подальших досліджень в виборі раціональних параметрів для ефективної роботи відцентрового сепаратора краплинної вологи. Також 3D модель сепаратора має відповідні властивості для створення та подальшого дослідження віртуальних фізичних процесів.

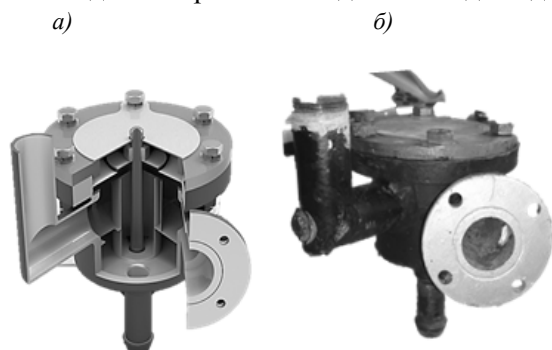


Рис.2. Відцентровий сепаратор краплинної вологи: а – імітаційна модель; б – макетна модель

За результатами моделювання та дослідження її засобами автоматизованого проектування розроблено макетну модель (рис. 2б), яку можливо використовувати на лабораторному стенді для перевірки адекватності даних математичного моделювання. Така модель дозволить встановити раціональні параметри відцентрових краплевловлювачів системи пневмозабезпечення гірничого устаткування.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Отже, використання імітаційного моделювання як бази для дослідження сепараційних об'єктів дозволяє значно скоротити час та ресурси на виготовлення об'єкта досліджень.

У подальшому планується на базі макетної моделі відцентрового сепаратора краплинної вологи створити лабораторний стенд для дослідження параметрів сепараторів системи пневмозабезпечення гірничого устаткування.

Список літератури

1. Федоров Ю.И. Улучшение очистки воздуха всасываемого шахтными компрессорами / Ю.И. Федоров, В.И. Дегтярев, В.В. Лобода // Сб. научн. тр. Создание и совершенствование шахтных стационарных установок. Шахтные турбомашини. – Донецк: ИГММК им. Федорова. – 1976. – № 40. – С. 49–53
2. Лобода В.В. Улучшение экологичности шахтных передвижных винтовых компрессорных установок / В.В. Лобода, Н.В. Манец // Проблемы эксплуатации оборудования шахтных стационарных установок. – 2012-2013. – Вып. 106-107. – С. 271-275.
3. Галюжин А.С. Анализ устройств очистки сжатого воздуха пневмосистем мобильных машин / А.С. Галюжин. – Вестник Белорусско-Российского университета : научно-методический журнал. – Могилев : ГУ ВПО "БРУ", 2001 - ISSN 2077-8481. – С.17-27.
4. Алиев Г.М.-А. Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок / Г.М.-А. Алиев. – М.: Металлургия, 1983. – 286 с.
5. Алиев Г. М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов / Г.М.-А. Алиев. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
6. Кобелев Н.С. Снижение энергозатрат при производстве сжатого воздуха для горных машин / Н.С. Кобелев // Изв. вузов. Геол. и разведка. – 1987. – № 6. – 167–168 с.
7. Брусиловский И.В. Исследование на моделях влияния элементов градиент и ветра на структуру потока перед вентилятором и его работу / И.В. Брусиловский, А.Р. Бушель, А.Я. Носов // Труды координационных совещаний по гидротехнике. – Вып. 44. Л.: Энергия, 1968. – 178 с.
8. В.С. Квагинидзе Влияние климатических условий на надежность и производительность горного оборудования / В.С. Квагинидзе, А.Л. Фирсов, В.В. Акименко, Д.А. Бобровский // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск № 11, Якутия-4, 2007. – 424 с.
9. Довгалоук О.Б. Ймовірнісна блок-схема моделювання процесу пило очищення газів в скруберах Вентурі / В.Б. Довгалоук, І.О. Качан // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник. – Вып. 19 – К.: КНУБА, 2016. – С.131-136.
10. Дубинская Ф. Е. Скрубберы Вентури. Выбор, расчёт, применение / Ф.Е. Дубинская, Г.К. Лебедюк // - ЦИНТИхимнефтемаш. - М.-1977. - 61 с.
11. Темеровский Б.З. Очистка газов в чёрной металлургии / Б.З. Темеровский // – Днепропетровск. - Проминь. -1971.- 91 с.
12. Декл. пат. 52028. Украина, МКИ В04С1/00, В04С5/103, В04С5/16. Сепаратор капельной влаги/ М.И. Великий, О. В. Замыцкий, Б. М. Литовко, В. А. Трегубов. – Опубл. 16.12.2002, Бюл. № 12.–2 с.
13. Замыцкий О.В. Анализ способов охлаждения при производстве сжатого воздуха для горных машин / О.В. Замыцкий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ.–2001.–№ 10.–С. 67–71.
14. Замыцкий О.В. Влияние температуры окружающей среды на эффективность производства сжатого воздуха для горных машин / О.В. Замыцкий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ.–2001.–№ 12.–С.33–34
15. Трегубов В.А. Обоснование применения и выбор конструктивных параметров контактных воздухоохлаждающих шахтных турбокомпрессоров / В.А. Трегубов, О.В. Замыцкий, Б.М. Литовко // Разработка рудных месторождений. – Вып. 90.–Кривой Рог: КТУ.–2006.–С.145–149.

Рукопис подано до редакції 03.04.2019

УДК 622.14

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

ГІРНИЧО-ГЕОМЕТРИЧНІ МЕТОДИ ДЛЯ ОЦІНКИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ РОДОВИЩ КРИВБАСУ

Мета. У статті розглянуто методику геометризації родовищ корисних копалин шляхом вибору оптимального гірничо-геометричного методу оцінки для забезпечення раціонального ведення гірничо-видобувних робіт на основі аналізу та удосконалення існуючих методів геометризації родовищ корисних копалин.

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

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

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

Результати. Обрана оптимальна методика геометризації в умовах криворізьких залізрудних родовищ. Запропоновано вирішення актуальної наукової задачі, що має важливе народногосподарське значення, яка полягає в розробці гірничо-геометричного методу оцінки показників залізрудних родовищ, реалізованого в математичній моделі багатовимірного випадкового геохімічного поля.

Ключові слова: геометризація, методи геометризації родовищ, гірничо-геометричний метод, модель родовища, геометризація залізрудного родовища, перспективне та поточне планування.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-68-75

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Родовища корисних копалин мають дуже різноманітні форми. Залягають вони в надрах у різних гірничо-геологічних і гідротехнічних умовах. Родовища корисних копалин мають різноманітний, але в той же час визначений на даний момент характер розміщення властивостей у цих формах і умовах.

Будь-яка фізична, хімічна, геологічна та інша властивість поклада та порід, яка може бути безпосередньо або непрямо виміряна, визначена і виражена числом, називається показником або ознакою родовища.

Кожен з цих показників може мати свою геометрію, тобто свій простір розміщення або функцію просторового розміщення. Виявлення геометричного вигляду цих функцій з визначеним ступенем точності є геометризацією родовища.

Різні показники родовищ корисних копалин характеризуються такими видами функцій.

Функції реально існуючих поверхонь (підшви і покрівлі родовища, тектонічного розриву, літологічних різновидів тощо).

Функції показників родовища, що виражають поверхні, реально в природі не існуючі, та які є похідними реальних поверхонь (ізопотужність, ізоглибини і т.д.).

Функції, що виражають поверхні уявні, не існуючі реально і не завжди пов'язані залежністю з реально існуючими поверхнями родовищ (розміщення компонентів у покладі, інтенсивність тріщинуватості гірського масиву, зміна фізичних, геометричних, гірничогеологічних та інших властивостей гірських порід).

Функції 1-го та 2-го видів встановлюються за значеннями показників, що виміряні в окремих точках. Показовість і точність реалізацій (зображення поверхні) залежать від нестабільності показника і густоти точок спостереження.

Функції 3-го виду встановлюються за середнім значенням показника в деяких об'ємах і є

математичним очікуванням можливих реалізацій розміщення показників за даних умов досліду.

Аналіз досліджень і публікацій. Розміщення будь-якого показника родовища у просторі надр зображається за П.К. Соболевським у вигляді геохімічного чи геотектонічного полів або ж їх сукупності. Під геохімічним полем П.К. Соболевський має на увазі сукупність форм, властивостей процесів, пов'язаних між собою єдністю свого геологічного генезису, що є результатом процесів, які відбувалися або відбуваються у надрах.

Якщо виразити числом P будь-яку із характеристик властивостей геохімічного поля, то у межах елементарного об'єму вона буде функцією від просторових координат і часу:

$$P = f(X, Y, Z, t).$$

У такому вигляді ця функція не існує, не має свого визначення. Але якщо у межах простору, що вивчається, вона задовольняє умови кінцевості, однозначності, безперервності і плавності, то з окремих вимірів та числових значень закономірностей зміна цієї властивості може бути виявлена і виражена геометрично.

Умова кінцевості – це функція, яка має кінцевий характер. Значення не може дорівнювати нескінченно великому числу.

Умова однозначності – це функція P , яка має визначене значення (вміст металу в одиниці об'єму, співставлений з точкою-центром цього об'єму), для даної довільної точки поля (X_l, Y_l, Z_l) і для даного моменту часу (t_l).

Умова безперервності зберігається при незначному зміщенні точки спостереження, або ж не набагато змінюється кількісна характеристика властивості надр, що розглядаються.

Умова плавності – це плавна зміна функції P на нескінченну малу величину аргументів X, Y, Z у будь-якому напрямку.

Якщо із рівняння $P = f(X, Y, Z, t)$ виключити t (час), враховуючи, що за період вивчення властивостей об'єкт практично не змінюється, то для деякого перетину, що має постійну відмітку z , числові значення функції будуть залежати від аргументів X, Y і відбиватися у функції топографічного порядку $P_z = f(X, Y)$.

Звідси випливає, що будь-яка властивість геохімічного поля в будь-якому площинному перетині геометрично відбивається системою непересічних ліній, що показують зміну даної властивості у цьому перетині. Отже, якщо ми візьмемо ряд плоских паралельних перетинів землі й в кожному такому перетині зобразимо зміни властивості у вигляді топоповерхні, то отримаємо повну та ясну картину простору, що досліджується.

Постановка задачі. Застосовуючи для вивчення геохімічного поля метод ізоліній і математичну статистику, в багатьох випадках вдається вирішити питання про математичне виявлення закономірностей явищ, що спостерігаються у надрах, і використовувати їх при розв'язанні практичних задач.

Основними методами геометризації надр є метод ізоліній і метод геологічних розрізів (профілів). При вивченні складних покладів додатково використовують метод об'ємних наочних графіків і метод моделювання.

Викладення матеріалу та результати. Метод ізоліній заснований на побудові на плані ізоліній за числовими значеннями будь-якого показника. Зміна показника у просторі (шарі) буде зображатися поверхнею топографічного порядку. Ізолініями при цьому зображають невидимі поверхні не лише реальні, але й уявні. Тому побудова поверхонь при геометризації незрівнянно складніша, ніж побудова горизонталей земної поверхні.

Метод ізоліній називається також методом графічного моделювання, так як, користуючись ним, на площині аркуша паперу отримують зображення родовища, що відповідає його просторовій моделі. Метод ізоліній є не лише відображальним прийомом, але і засобом розв'язування багатьох задач вивчення родовища.

Метод геологічних розрізів дозволяє відображати форму тіла корисних копалин і уявляти його стан серед вміщуючих порід у даному перетині (вертикальному, горизонтальному тощо).

У деяких поодиноких випадках, наприклад, для покладу зі сталою потужністю, система геологічних розрізів (вертикальних чи горизонтальних) є основною графічною документацією. Проте у більшості випадків окремі розрізи (профілі) не відображають особливостей надр у просторі. За допомогою одних лише розрізів, без ізоліній, важко, а інколи і неможливо, уявити на кресленні характер розміщення компонента, зміни фізико-технічних і гірничо-геологічних властивостей покладу та бокових порід тощо. Геометризація надр не виключає геологічного їх

вивчення. Вона є науковою математичною (геометричною) базою комплексного вивчення надр.

Для побудови гіпсометричних планів треба знати відмітки підшви (покрівлі) родовища чи мати геологічний розріз, або геологічну карту, на якій були б показані виходи пластів, кути їх падіння, а також зображена поверхня рельєфу.

Перед побудовою аналізують наявну інформацію про геологічну будову покладу, вибирають масштаб зображення і висоту перетину, проекцію і спосіб побудови пластів.

Всі способи побудови гіпсометричних планів поділяються на безпосередні (прямі) і непрямі. У першому випадку плани будують за результатами безпосередніх вимірів, у другому - використовують математичні дії з топоповерхнями.

Побудова планів виконується у такій послідовності:

Накреслюють сітку координат; наносять устя розвідувальних виробок, біля яких підписують відмітки устя свердловин та показують місцезнаходження їх осей на плані; проводять аналіз відміток і одним із способів (багатокутника, інваріантних ліній) будують поверхню покрівлі (підшви) пласта.

Побудову слід почати з найбільш вивченої частини родовища, тієї, де є найбільша кількість свердловин. При проведенні ізогіпс слід враховувати геологічні та тектонічні особливості будови ділянки.

При розвідці родовища системою профільних ліній побудова планів починається зі складання профільних розрізів покладу за розвідувальними лініями (Р.Л.). Для цього будують висотну сітку, за відстанями між свердловинами та відмітками устя свердловин відмічають їх положення на профілі. За даними викривлення свердловин будують положення точок входу (виходу) свердловин у поклад, точки з'єднують прямими лініями, отримуючи поверхні покрівлі (підшви) покладу. Знаходять точки перетину цих поверхонь з висотною сіткою. Ці точки виносять на план, відкладаючи на профільну лінію відстань від устя свердловин до цих точок (r_1 , r_2 , r_3). Точки з однаковими відмітками з'єднують і отримують гіпсометричний план покрівлі (підшви). На контурі покладу ізогіпси поверхні покрівлі покладу переходять в ізогіпси поверхні підшви, обмежуючи перетин покладу на даному горизонті.

Гіпсометричні плани покрівлі (підшви) покладу є вихідним матеріалом для складання проекту відпрацювання покладу та його дорозвідки. За гіпсометричним планом намічають напрямки головних відкотних виробок.

За гіпсометричними планами вирішуються питання задання напрямку гірничим і розвідувальним виробкам до покладу корисних копалин та розробки покладу під різними об'єктами і спорудами, що розташовані на поверхні.

Підрахунок запасів, розподіл їх за категоріями вивченості і розвіданості, встановлення форми ціликів і запасів корисних копалин у них, визначення обсягів робіт при поточному та перспективному плануванні гірничих робіт проводять за гіпсометричними планами з урахуванням інших показників покладу.

Гіпсометричні плани у багатьох випадках є об'єктивним матеріалом для пояснення тектоніки родовища і генезису утворення структурних елементів, за якими визначають раціональний напрямок і довжину виробки на зміщену частину покладу, а також складають прогнози поширення порушень на сусідні пласти і нижні горизонти.

Потужність корисних копалин в окремих точках покладу різна. При вирішенні завдань гірничої справи особливий інтерес викликає графічне зображення зміни потужності корисних копалин у межах покладу.

Зміцнення потужності корисних копалин можна передати у вигляді топоповерхні, тобто у вигляді системи ізоліній. Ця поверхня реально не існує. Вона є абстрактною та являє собою поверхню, уявно осаджену на площині покладу. При цьому слід дотримуватися двох умов: рівність об'ємів природного й осадженого покладу та рівність вертикальних потужностей (рис.5.6, а, б).

Якщо поверхню осадженого покладу розсікти горизонтальними площинами, що перебувають на однаковій відстані одна від одної, та отримані лінії перетину спроекувати на горизонтальну площину, то отримаємо зображення поверхні потужності в ізолініях.

Ізопотужності покладу будують безпосереднім або непрямим способами. Безпосереднім способом ізолінії потужностей отримують шляхом лінійної інтерполяції. На план за координатами переносять точки входу свердловин у поклад або точки покрівлі, де проводилися заміри

потужності. Біля них підписують значення потужностей, нормальних до вибраної площини проекції. Проводять аналіз, що полягає у визначенні інваріантних ліній, площадок, зон роздування і утонення потужностей, виклинювання, тектонічних порушень. Ці зони завжди завчасно оконтурюють. Задаючись перетином потужності (0,25 ; 0,5; 1; 2; 5 м), за допомогою трафарету знаходять ступінчасті відмітки. З'єднуючи точки з однаковим значенням потужності плавними лініями, отримують план потужностей в ізолініях. У тих випадках, коли є відпрацьована ділянка покладу, побудову ізоліній починають з неї.

При непрямому способі побудови планів ізопотужностей застосовують математичні дії з топоповерхнями. Для кожної точки пласта справедлива рівність

$$l_g = Z_k - Z_n,$$

де Z_k і Z_n – відповідно відмітки покрівлі та підосви, l_g – вертикальна потужність покладу. Перейшовши до поверхні, будемо мати

$$f l_g(X, Y) = f_k(X, Y) - f_n(X, Y).$$

Цей спосіб застосовується при складних формах покладу, розвіданого системою вертикальних, похилих і викривлених свердловин.

За планами ізопотужностей підраховують запаси корисних копалин, встановлюють межі покладу, виділяють контури промислових ділянок покладу. Плани використовують при поточному і перспективному плануванні гірничих робіт, при обліку видобування і втрат корисних копалин і при вирішенні інших питань розробки родовищ.

Плани ізоглибин – це плани потужностей всієї товщі порід, що лежить вище поверхні покрівлі покладу. Ізоглибини, як і ізопотужності, являють собою поверхні, що в природі реально не існують.

Плани ізоглибин найчастіше будують непрямыми способами. Для цього необхідно від поверхні рельєфу відняти поверхню покрівлі покладу

$$f_{gl}(X, Y) = f_{gn}(X, Y) - f_k(X, Y).$$

Необхідно відзначити, що значення потужностей та глибини залягання корисних копалин відносять до окремих точок покрівлі покладу.

Плани ізоглибин широко використовуються при відкритій розробці корисних копалин. За планами визначають об'єм спеціальних робіт, встановлюють зміни коефіцієнта розкриття по всій площі покладу шляхом ділення ізоглибин на ізопотужності. За цими планами встановлюють раціональну глибину розробки, визначають лінію виходу пласта на поверхню (ізоглибина з відміткою, що дорівнює нулю, і буде лінією виходу пласта на поверхню), використовують плани для планування розвитку гірничих робіт.

Якісну характеристику родовищ, фізичні та хімічні властивості корисних копалин, а також кількісне розміщення в них корисних, шкідливих та інертних частин компонентів визначають за даними випробування корисних копалин та аналізу проб.

Зміну вмісту компонентів у виробці (свердловині, штреку, орту тощо) краще за все показати у вигляді полігональної чи ступінчастої кривої.

Для побудови таких кривих необхідно знати інтервал випробування і значення компонента в точці випробування (рис. 1., табл. 1, для свердловини 1916–В).

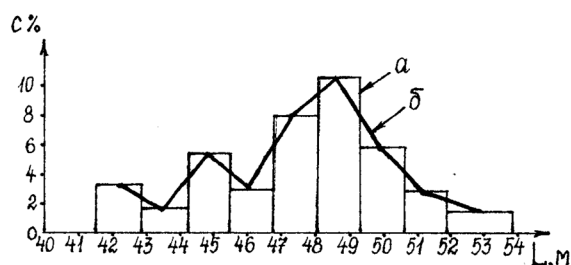


Рис. 1. Криві зміни вмісту:

a – ступінчаста (стовпчаста); b – полігональна

Таблиця 1

№№ проб	Інтервал	Довжина інтервалу	Вміст Fe_{Me_2} %
1	41,5–42,7	1,2	22,47
2	42,7–44,0	1,3	21,15
3	44,0–45,1	1,1	24,16
4	45,1–46,4	1,3	22,26
5	46,4–47,5	1,1	26,21
6	47,5–48,7	1,2	28,14
7	48,7–50,0	1,3	24,44
8	50,0–51,1	1,1	22,28
9	51,1–53,0	1,9	21,20

Побудови полігональних кривих починають з вибору масштабів по осях. На горизонтальній осі відкладають відстань між точками випробування, а на вертикальній – значення компо-

нента. Значення вмісту компонента відносять до середини інтервалу. З'єднавши ці середини, отримають полігональну криву зміни вмісту по виробці.

Отримана крива відображає одне випадкове розміщення компонента або одну його реалізацію. При зміні величин інтервалу, ваги проби, початку опробування, виду проби зміниться розподіл компонента по тій же самій виробці, або, іншими словами, ми будемо мати ще одну реалізацію геохімічного поля у даному розрізі. Варіюючи змінними параметрами, можна отримати велику кількість реалізацій (фактичного) розподілу.

Оскільки випробування проводиться один раз, то необхідно з однієї випадкової реалізації показати дійсний розподіл компонента у покладі. Дійсним розподілом буде математичне очікування із всіх випадкових реалізацій. Найбільш близько підходить до математичного очікування "згладжувана" крива випадкової реалізації.

Згладжування дозволяє виявити спільну закономірність у зміні вмісту компонента й усунути місцеві, нехарактерні, випадкові відхилення показника, що вивчається.

Згладжування можна робити графічно й аналітично. Найбільшого застосування знайшов перший спосіб, який полягає у тому, що на прозорій основі накреслюють вікно згладжування - проводять 3 паралельні лінії на відстані, що дорівнює половині вікна (рис. 2, а). Це вікно накладають на полігональну криву так, щоб перша лінія співпала з початком кривої. Проводять на прозорій основі (вікні) лінію, паралельну осі інтервалів так, щоб площі S_1 та S_2 , що лежать вище та нижче цієї прямої, були рівні (рис. 2, б, в). Тим самим площа ламаної фігури замінюється на площу прямокутника. Середину цього прямокутника (т. І) переносять на графік. Вікно зміщують на величину $a/2$ і повторюють дії. З'єднавши отримані точки 1,2,3 і т. д., отримаємо згладжену криву зміни вмісту, яку продовжуємо в обидва боки (на початку і в кінці) на величину $a/2$ відповідно характеру її зміни.

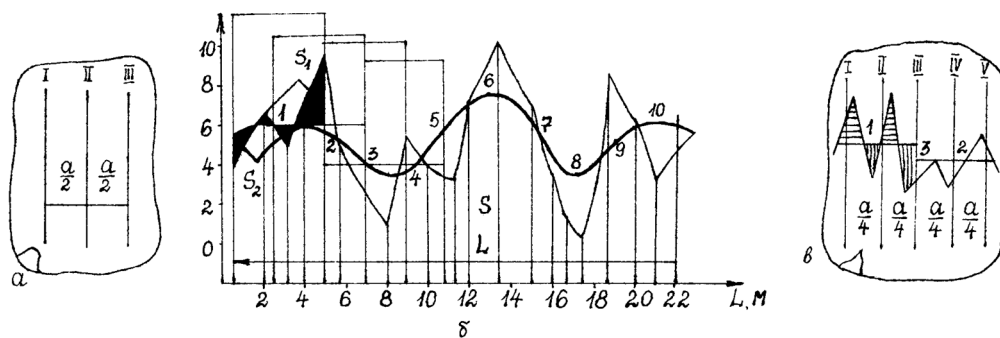


Рис. 2. Згладжування полігональної кривої вмісту: а - вікна згладжування; б, в - схема згладжування

При згладжуванні полігональних кривих головним є вибір розмірів вікна згладжування. При великій величині вікна ламану криву можна замінити прямою лінією (a дорівнює всьому інтервалу випробування), надто мала величина вікна призводить до незначного згладжування. За даними практики вікно роблять на $3 \div 5$ інтервали.

Для визначення середнього значення вмісту компонента по всій виробці (всьому інтервалу випробування) необхідно площу, обмежену згладжуваною кривою, поділити на всю довжину інтервалу

$$C_{cp} = \frac{S, \text{ см}^2}{L, \text{ см}}.$$

Середній вміст компонента необхідний для побудови кривих зміни вмісту за розвідувальними лініями (рис. 3, а). Спочатку будують полігональні криві вмісту по всіх свердловинах. Потім згладжують їх, знаходять середнє значення вмісту компонента у кожній свердловині. За цими середніми значеннями будують графік їх зміни за розвідувальними лініями (рис. 3, б).

Величину середнього значення відносять до середини інтервалу між точкою входу і виходу. Ці точки виносять на план, де і підписують значення вмісту компонента у кожній точці (рис. 3, в). Отримують систему профільних ліній зі значеннями вмісту компонента на них. З'єднавши точки з однаковими значеннями, отримують план ізовмісту для даного покладу чи ділянки.

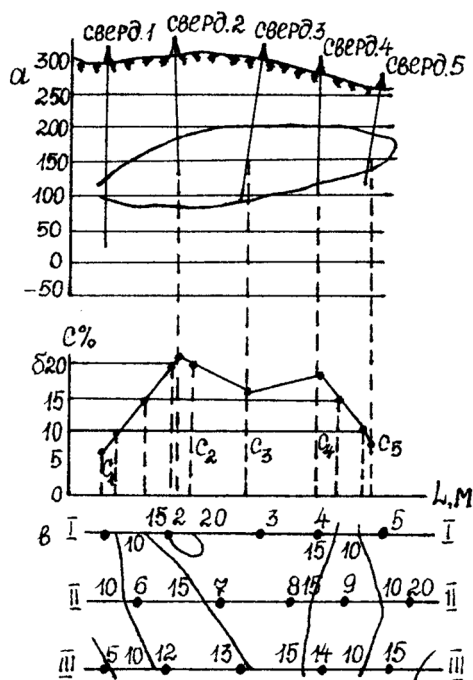


Рис. 3. Побудова плану вмісту: а – розріз, б – крива зміни вмісту за розвідувальною лінією I-I, в – план вмісту

У тому випадку, коли відстань між точками взяття проб набагато менша, ніж між розвідувальними лініями або гірничими виробками, плани ізовмісту будують за згладженими кривими, що отримали для кожної розвідувальної лінії або гірничої виробки.

Розробка конкретної методики геометризації залізородних родовищ розпочата в 30-ті роки роботами, що виконувались на Уралі під керівництвом проф. П.К.Соболевського.

Вихідними даними для виконання геометризації є: геологічні карти і геологічні розрізи детальної розвідки родовища, документація з випробування свердловин детальної розвідки з результатом хімічних аналізів, даними інклінометричної зйомки свердловин; погоризонтні маркшейдерські плани, маркшейдерська документація гірничих виробок, дані періодичних і спеціальних маркшейдерських спостережень і вимірів; геологічні розрізи і погоризонтні плани рудникової геології, документація з випробування свердловин експлуатаційної розвідки, польові

книжки геологічної документації гірничих виробок, матеріали випробування гірничих виробок і бурових свердловин, дані геофізичного випробування і визначення контурів рудних тіл; результати наземної і повітряної фотограмметричної зйомки, спеціальна фотогеологічна документація; результати вимірів тектонічних порушень і тріщинуватості масиву вміщуючих порід і рудного покладу; літературні джерела про рудне поле, про залізородні родовища району, звіти про науково-дослідні роботи та інші.

Геометризація форми й умов залягання залізородного покладу і вміщуючих порід спрямована, в першу чергу, на виявлення характеру контактів рудного тіла з вміщуючими породами. Для цього виконують побудову гіпсометричних планів, проєкцій на вертикальну або похилу площину поверхонь висячого і лежачого боків покладу, планів ізопотужності рудного покладу. Контури пустих порід, що знаходяться в рудному тілі окремими гніздами, виділяють з використанням коефіцієнтів рудоносності за напрямком і за площею.

Геометризація тектонічних порушень масиву, виділення в ньому складчастих структур і розривних порушень безпосередньо пов'язані з геометризацією тріщинуватості. Для цього виконують геологічні замальовки і фотогеологічні зйомки всіх тріщин. Обробку результатів вимірів і замальовок виконують для виявлення систем тріщин у гірських породах і рудах, для вивчення зв'язку тріщинуватості із загальною тектонічною порушеністю і впливом тріщин на процес рудоутворення, для розв'язування гірничотехнічних задач. Встановлено, що ефективність проходки гірничих виробок або відбірки руди зростає при розташуванні вибухових свердловин і шпурів перпендикулярно домінуючій системі тріщин.

Особливо важливе значення для розв'язування задач оперативного і поточного планування проведення гірничих робіт і отримання корисних копалин з заданою якістю має геометризація якісних показників родовища (рис. 4).

Встановлення закономірностей розміщення корисних копалин і шкідливих компонентів у рудному покладі виконується в декілька етапів: попередня обробка даних випробування детальної та експлуатаційної розвідок математично-статистичними методами з використанням ЕОМ; вибір математичної моделі мінливості якісних показників і встановлення оптимального «вікна згладжування» вихідних даних; встановлення кореляції між корисними і шкідливими компонентами для вивчення процесу мінералізації; визначення оптимальних параметрів експлуатаційної розвідувальної мережі випробування гірничих виробок; побудова графічної документації дозволяє виявити характер зруденіння, розв'язати питання генезису родовища, виконати оконтурювання і підрахувати запаси, спланувати видобування руди із заданим вмістом корисних копалин і шкідливих компонентів.

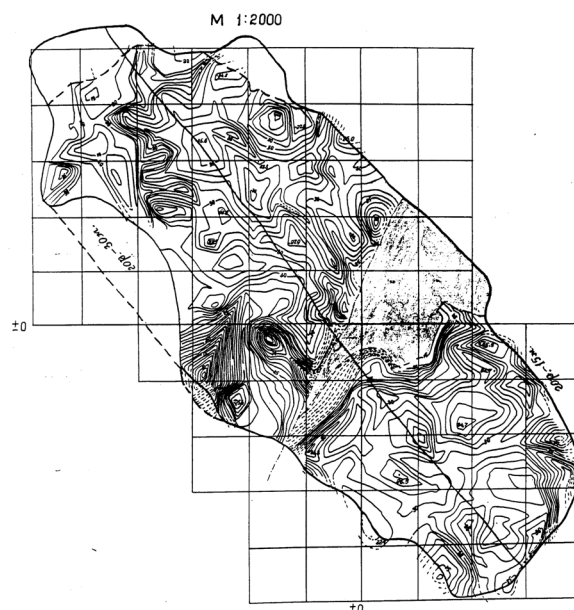


Рис. 4. Геометрія розміщення заліза магнетитового в руді на уступі кар'єру

Висновки та напрямки подальших досліджень. У роботі були розглянуті існуючі способи геометризації родовищ корисних копалин. Обрана оптимальна методика геометризації в умовах криворізьких залізрудних родовищ. Особливо важливе значення для розв'язування задач оперативного і поточного планування проведення гірничих робіт і отримання корисних копалин з заданою якістю має геометризація якісних показників родовища. Запропоновано вирішення актуальної наукової задачі, що має важливе народногосподарське значення, яка полягає в розробці гірничо-геометричного методу оцінки показників залізрудних родовищ, реалізованого в математичній моделі багатовимірного випадкового геохімічного поля. Саме

модель багатовимірного випадкового геохімічного поля є перспективною для подальшого розвитку і дослідження в умовах залізрудних родовищ Криворізького басейну.

Список літератури

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

Рукопис подано до редакції 02.04.2019

УДК 622.272

С. В. ТИЩЕНКО, д-р техн. наук, проф, Криворожский национальный университет

Г. И. ЕРЕМЕНКО, канд. техн. наук, Академия горных наук Украины

Д. Ю. МАЛЫХ, директор по производству и планированию ЧАО «ИнГОК»

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЦЕССА ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ ОТ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СРЕДЫ

Актуальность. Процесс взрывного разрушения горного массива при заданных параметрах поля напряжений во многом определяется физическими свойствами и структурой разрушаемых пород. К основным свойствам горных пород относится объемный вес γ , а именно вес единицы объема породы с естественной влажностью и структурой, сопротивляемость горной породы разрушению при любом виде приложения нагрузки, которая оценивается величиной коэффициента крепости f по шкале профессора М.М. Протоdjаконова и трещиноватость. В свою очередь, трещиноватость горного массива характеризуется густотой сетки трещин, их размерами, и ориентацией в пространстве.

Анализ исследований и публикаций. Процесс дробления многие авторы рассматривают как процесс роста и слияния трещин в разрушаемом объеме горного массива. Исследуем основные закономерности процесса разрушения с использованием теории статистики.

Методы исследований. Значение параметров трещин во время воздействия взрывной нагрузки меняется в их совокупности по закону непрерывной случайной величины. Совокупность всех возможных значений параметров в силу непрерывности их изменения образуют некоторую трехмерную область.

Горный массив будем рассматривать как квазиизотропную среду, размеры трещин не превышают линейные размеры рассматриваемого объема и беспорядочно ориентированы.

Постановка задачи. Продукты детонации, действующие на стенки зарядной камеры, образуют в разрушаемом горном массиве очень неоднородное сложное поле напряжений, распространяющееся со скоростью, определяемой физическими свойствами среды. В реальных условиях, даже при равномерном напряжении, поля напряжений имеют локальную неоднородность. На берегах трещин концентрируются напряжения. Этот процесс во многом зависит от их конкретных размеров. Когда величина напряжений достигает величины σ_p , трещина начинает расти. При этом процесс развития трещин становится необратимым.

Результаты. Выполненные исследования показывают, что процесс разрушения горных пород при данных характеристиках поля напряжений определяется физическими свойствами разрушаемого массива и его структурными особенностями. Хотя интенсивность дробления разрушаемой среды и зависит от многочисленных факторов, при этом их влияние на характер процесса разрушения неравнозначный. На это указывают и многочисленные исследования. Определяющими факторами качества взорванной горной массы, очевидно, является величина и продолжительность импульсного воздействия в разрушаемом массиве горных пород и физико-механические свойства последних.

Ключевые слова: взорванная масса, интенсивность дробления, разрушение горных пород.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-75-79

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Процесс взрывного разрушения горного массива при заданных параметрах поля напряжений во многом определяется физическими свойствами и структурой разрушаемых пород. К основным свойствам горных пород относится объемный вес γ , а именно вес единицы объема породы с естественной влажностью и структурой, сопротивляемость горной породы разрушению при любом виде приложения нагрузки, которая оценивается величиной коэффициента крепости f по шкале профессора М.М. Протоdjаконова и трещиноватость [1]. В свою очередь, трещиноватость горного массива характеризуется густотой сетки трещин, их размерами, и ориентацией в пространстве. Следовательно, трещиноватость разрушаемого горного массива можно рассматривать как функцию от перечисленных параметров

$$\varphi = \varphi(x_1, x_2, x_3). \quad (1)$$

Анализ исследований и публикаций. Процесс дробления многие авторы [2,3] рассматривают как процесс роста и слияния трещин в разрушаемом объеме горного массива. Исследуем основные закономерности процесса разрушения с использованием теории статистики [4].

Значение параметров трещин во время воздействия взрывной нагрузки меняется в их совокупности по закону непрерывной случайной величины. Совокупность всех возможных значений параметров в силу непрерывности их изменения образуют некоторую трехмерную область z , координаты каждой точки которой определены как (γ, f, φ) .

В общем виде закономерность распределения трещин, согласно введенных параметров, будет иметь вид

$$F = \int_z F(\gamma, f, \varphi) dz, \quad (2)$$

где $F(\gamma, f, \varphi)$ - дифференциальная функция распределения.

Конкретный вид данной функции зависит от свойств и структуры рассматриваемой среды, при этом надо учитывать тот факт, что переменная φ , в свою очередь, является функцией от основных параметров, характеризующих степень трещиноватости горной породы. Область z определяется параметрами поля напряжений, при котором происходит развитие и слияние трещин, имеющихся в разрушаемом массиве.

Рассмотрим процесс взрывного разрушения горного массива в динамике.

Постановка задания. Горный массив будем рассматривать как квазиизотропную среду, размеры трещин не превышают линейные размеры рассматриваемого объема и беспорядочно ориентированы.

В качестве количественной характеристики напряженного состояния разрушаемого массива, вызывающего разрушения, примем согласно [5] величину

$$\sigma_p^2 = \sqrt{(1+V)(\sigma_{ij}\varepsilon_{ij} - V\theta^2)}, \quad (3)$$

где σ_{ij} - компоненты тензора напряжений; ε_{ij} - компоненты тензора деформаций, $\theta = \sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}$.

Энергия деформированного изотропного тела равна

$$W = -\int_V \left(\frac{V}{2E} \theta^2 - \frac{1+V}{2E} \sigma_{ij}\varepsilon_{ij} \right) dV. \quad (4)$$

Если обозначить через ΔV - элементарный объем в разрушаемом массиве и учесть, что компоненты тензора напряжений в этих пределах изменяются незначительно, то получим

$$\Delta W = 1/2 \sigma_p^2 E^{-1} \Delta V. \quad (5)$$

Принимая во внимание тот факт, что число трещин в объеме ΔV - горной породы подчиняется нормальному закону распределения по площадям

$$dN = n_0 e^{-\beta^2 S} dS, \quad (6)$$

откуда

$$N = n_0 \int e^{-\beta^2 S} dS = -n_0 \beta^{-2} e^{-\beta^2 S}, \quad (7)$$

где n_0 и β - постоянные коэффициенты, характеризующие структуру горного массива.

Изложение материала и результаты. Продукты детонации, действующие на стенки зарядной камеры, образуют в разрушаемом горном массиве очень неоднородное сложное поле напряжений, распространяющееся со скоростью, определяемой физическими свойствами среды. В реальных условиях, даже при равномерном напряжении, поля напряжений имеют локальную неоднородность. На берегах трещин концентрируются напряжения. Этот процесс во многом зависит от их конкретных размеров. Когда величина напряжений достигает величины σ_p , трещина начинает расти. При этом процесс развития трещин становится необратимым. Для разрушения хрупкой среды необходимо и достаточно, чтобы удовлетворялось условие

$$\varepsilon \geq \varepsilon_p,$$

где ε - относительная деформация среды от воздействия взрыва; ε_p - максимально возможная относительная деформация.

Относительная деформация определяется так: $\varepsilon = \Delta S / S$, где ΔS - абсолютное перемещение стенок скважины в заданный момент времени m , S - длина напряженного массива, м. На рис. 1 показана графически зависимость величины относительной деформации от линейных размеров разрушаемого массива.

Длина горного массива, находящегося под действием взрывной нагрузки в направлении от скважинного заряда в сторону перемещения ΔS в момент времени Δt равна $\Delta S = C \Delta t$, где C - скорость распространения волн напряжений в данной среде, м/с.

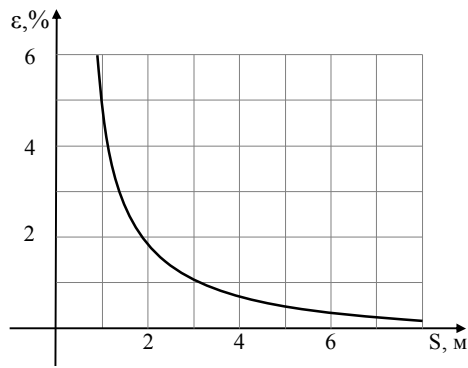


Рис. 1. Зависимость относительной деформации от расстояния

Известная формула А.А. Гриффитса [6] устанавливает связь между действующими напряжениями и размером трещин

$$\sigma = \frac{2}{3} (E\gamma L S_{кр}^{-1})^{1/2}, \quad (8)$$

т.е., если приложенная нагрузка вызывает в теле поле напряжений величиной σ , то все трещины площадью $S \geq S_{кр}$ станут расти, причем линейные размеры трещин l_i должны удовлетворять условию

$$l_i \ll L,$$

где L - линейные размеры тела. Число таких трещин, распространяющихся под действием напряжений σ согласно [7], равно

$$m = n_0 \int_{S_{кр}}^{\infty} e^{-\beta^2 S} dS = \frac{\sqrt{\pi}}{2\beta} (1 - \Phi(S_{кр})),$$

где $\Phi(S_{кр}) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{S_{кр}} e^{-\beta^2 S} d(\beta S)$ - интеграл вероятности, определяющий вероятностное число трещин, удовлетворяющих условию $S \geq S_{кр}$.

Постоянные n_0 и β определяют для каждого конкретного материала особенности процесса разрушения. Они отражают зависимость между разрушающим напряжением и первоначальной сеткой трещин в данном разрушаемом объеме.

Экспериментальные исследования, выполненные авторами [5], позволили аппроксимировать зависимость времени достижения трещиной максимальной скорости распространения $t = k e^{-m\sigma} P(\sigma - \sigma_0)$, где k и m - постоянные для каждого конкретного материала, σ_0 - напряжение, при котором вероятность роста трещин равна вероятности их смыкания. Функция $P(\sigma - \sigma_0)$ определена в виде функции Дирихле и имеет вид

$$P(\sigma - \sigma_0) = \begin{cases} 1, & \text{если } \sigma - \sigma_0 > 0; \\ 0, & \text{если } \sigma - \sigma_0 \leq 0. \end{cases}$$

Общее время разрушения единицы объема равно

$$t_{общ} = \frac{1}{V} \left(\frac{\beta}{n_0 \sqrt{\pi}} \right)^{1/3} \left(1 - \Phi \left(\frac{4}{9} L E \gamma \sigma^{-2} \right)^{-1/3} - \frac{\varepsilon}{2} e^k P(\sigma - \sigma_0) \right). \quad (9)$$

Усредненное расстояние между растущими трещинами при условии их равномерного распределения в рассматриваемом единичном объеме

$$h = \left(\frac{\beta}{\sqrt{\pi} \cdot n_0 (1 - \Phi(S_{кр}))} \right)^{1/3}.$$

Согласно [8,9] энергия, диссипированная в данном объеме разрушаемой среды в результате взрыва, складывается из работы сил деформации и энергии, переданной среде ударной волной, элементарная работа сил пластической деформации над сферическим слоем толщиной dr при его перемещении на расстояние $S = udt$, равна

$$dE'_1 = -8\pi(\sigma_r - \sigma_\theta) u r dr dt. \quad (10)$$

После интегрирования выражения (9) по времени получим работу сил пластической деформации, производимую над рассматриваемым объемом за время его движения

$$dE_1 = -8\pi \int_{t_0}^{t_m} (\sigma_r - \sigma_\theta) u r dr dt, \quad (11)$$

где t_0 - начальное время; t_m - время полного расширения радиуса ударной волны; σ_r , σ_θ - главные нормальные напряжения.

Энергия, переданная ударной волной сферическому объему среды,

$$dE_2 = 2\pi\epsilon^2 \cdot \rho_0 R^2(r_0) r_0^2 dr_0, \quad (12)$$

где r_0 - Лагранжева координата; ϵ ; ρ_0 - параметры, характеризующие среду; R - радиус фронта ударной волны.

Принимая во внимание, что $r^3 = \epsilon n^3 + (1 - \epsilon)r_0^3$, а также значение параметров пластической среды $\sigma_r - \sigma_0 = k + m(\sigma_r + 2\sigma_0)$, $k = \tau_k - \bar{m}\rho$, где τ_k - касательное напряжение, ρ - среднее напряжение; $\bar{m}$ - коэффициент внутреннего трения при условии что массовая скорость частиц за фронтом ударной волны равна

$$U = \epsilon R^2(t) \cdot R'(t) \cdot r^{-2},$$

где $R'(t)$ - скорость фронта ударной волны можно получить формулу, определяющую полную энергию, диссипированную в рассматриваемом объеме разрушаемой среды

$$dE = 2\pi\epsilon^2 \rho_0 R^2(r_0) \cdot r_0^2 \cdot dr_0 - 4\pi\alpha\epsilon r_0 dr_0 (1 - \epsilon) \cdot \int_{t_0}^{t_m} \frac{(\sigma_r + k/3m)R^2(t) \cdot R'(t) \cdot dt}{\epsilon R^3(t) + (1 - \epsilon)r_0^3}.$$

Согласно полученной формулы, а также формул (10) и (11) видно, что распределение энергии в рассматриваемой среде, зависит от k и свойств самой среды, и при этом не зависит от полной энергии взрыва.

Выводы и направление дальнейших исследований. Выполненные исследования показывают, что процесс разрушения горных пород при данных характеристиках поля напряжений определяется физическими свойствами разрушаемого массива и его структурными особенностями. Хотя интенсивность дробления разрушаемой среды и зависит от многочисленных факторов, при этом их влияние на характер процесса разрушения неравнозначный. На это указывают и многочисленные исследования [10,11, 12]. Определяющими факторами качества взорванной горной массы, очевидно, является величина и продолжительность импульсного воздействия в разрушаемом массиве горных пород и физико-механические свойства последних. Учитывая тот факт, что горно-геологические условия проведения взрывных работ можно считать заданными, то процессом взрывного дробления можно управлять, рационально используя определенную технологию взрывной отбойки, определяющую характер взрывного нагружения в зависимости от физико-механических свойств среды.

Список литературы

1. Протодяконов М.М., Тедер Р.И., Ильиниц Е.И. и др. Распределение показателей физических свойств горных пород / Протодяконов М.М., Тедер Р.И., Ильиниц Е.И. // М.: Недра, 1981. – 188 с.
2. Воробьев В.Д., Куринной В.М., Мяделец В.Н. Исследование процесса детонации комбинированных зарядов ВВ и эффективность их применения при разрушении гранитов / Воробьев В.Д., Куринной В.М., Мяделец В.Н. // Изд-во ВУЗов. Горный журнал, 1972. - № 2. – С.82-90.
3. Кучерявый Ф.И., Лучко И.А. Взрыв и горные технологии / Кучерявый Ф.И., Лучко И.А. // Киев: Наукова думка, 1988. – 157 с.
4. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика / Пугачев В.С. // М.: Наука, 1979. – 469 с.
5. Друкованный М.Ф., Куц В.С., Ильин В.Н. Управление действием взрыва скважинных зарядов на карьерах. – М.: Недра, 1980. – 223 с.
6. Griffith A.A. Theory of rupture. Proc. First. / Griffith A.A. // International Congress Appl. Mech. 1924. P.256.
7. Физика взрыва / Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др./ Под. ред. К.П.Станюковича. - М.: Наука, 1975. - 407 с.
8. Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер В.Н. Физика взрыва / Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер В.Н. // М.: ФизматГИЗ, 1959. – 800 с.
9. Миндели Э.О., Кусов Н.Ф. Корнеев А.А., Марцинкевич Г.И. Комплексное исследование действия взрыва в горных породах / Миндели Э.О., Кусов Н.Ф. Корнеев А.А., Марцинкевич Г.И. // М.: Недра, 1978. – 253 с.
10. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Салганик Р.М. О кинетике распространения трещин // Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Салганик Р.М. // Инженерный журнал, МТТ, 1963. - № 1. – С.28-30.
11. Вовк А.А., Михалюк В.В., Белинский Н.В. Развитие зон разрушения горных пород при камуфлетных взрывах / Вовк А.А., Михалюк В.В., Белинский Н.В. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1973. № 4. – С.39-45.
12. Berry I.P. Fracture process in polymeric material / Berry I.P. // I. Polymer Sci. V.50, n.153. – P.56-81.

Рукопись поступила в редакцию 04.04.2019

УДК 621.926.9

С.С.ДУБРОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доцент, С.В.РЕБРОВА, асистент
Криворізький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ТА РЕМОНТІ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Мета. Метою даної статті є обґрунтування доцільності застосування полімерних матеріалів для захисту робочих поверхонь гірничо-збагачувального обладнання від абразивного зносу.

Методи дослідження. Узагальнення та групування – для аналізу поглядів науковців на об'єкт дослідження та формулювання висновків контент-аналізу первинних джерел, аналіз і синтез – для з'ясування причин абразивного зносу та обробки статистичних даних, графічний – для наочного відображення отриманих даних.

Наукова новизна. Обґрунтовано можливість впровадження полімерних матеріалів у ремонтні технології гірничо-збагачувального обладнання, в яких, на відміну від існуючих, ураховано кумулятивний характер абразивного зносу, що характеризується додаванням до нього корозійних процесів, кавітаційного зносу, адгезійного зносу та інших.

Практична значимість. Впровадження полімерних матеріалів у технології ремонту та відновлення робочих поверхонь гірничо-збагачувального обладнання дозволить значно зменшити фінансові затрати, оскільки не потребує суттєвих капіталовкладень та витрат робочого часу. Рациональне використання фізико-хімічних властивостей полімерних композиційних матеріалів надасть можливість значно знижувати трудомісткість і собівартість ремонту і скорочувати витрати матеріалів на їх проведення.

Результати. Проведено аналіз статистики відмов ґрунтових насосів. З'ясовано, що переважною їх причиною є зношення корпусу та робочого колеса. За результатами проведеного аналізу існуючих підходів указано на відсутність універсальних методів боротьби зі зношуванням, а також загальноприйнятих критеріїв зносостійкості. Ураховано можливість зміни фізико-хімічних показників і, як наслідок, експлуатаційних властивостей полімерів, а також впровадження нових технологій їх нанесення. Показано, що застосування та вдосконалення полімерних композиційних матеріалів є перспективним напрямком розвитку технологій ремонту гірничо-збагачувального обладнання. Обґрунтовано, що зменшення собівартості й енергозатратності виробництва, а також ваги конструкцій та металоємності вузлів можна досягти за рахунок застосування суперміцних полімерних матеріалів і композицій шляхом заміни металевих деталей на полімерні деталі, які не будуть поступатися їм за експлуатаційними властивостями.

Ключові слова: технологія, абразивне зношування, полімерні матеріали, гірничо-збагачувальне обладнання, експлуатація, робочі поверхні

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-79-83

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Протягом багатьох десятиліть провідні науковці займаються питанням підвищення зносостійкості робочих органів машин від абразивного зношування. Це питання залишається дуже актуальним і досі, особливо, у гірничозбагачувальній галузі. Поверхні млинів, дробарок, грохотів, шламових насосів, магнітних сепараторів, що безпосередньо контактують з абразивним матеріалом піддаються інтенсивному зносу, втрачають свої експлуатаційні властивості, а це спричиняє за собою збільшення капіталовкладень на ремонт, відновлення, а в деяких випадках, заміну обладнання.

Аналіз досліджень і публікацій. Загальними питаннями теорій та практики виготовлення й ремонту деталей гірничо-збагачувальних машин присвячена велика кількість робіт як зарубіжних, так і вітчизняних науковців. Зокрема, в роботах Виноградова В.М., Сорокіна Г.М. [1-3] був вивчений механізм абразивного зношування, розроблені методики дослідження та класифікація абразивного зношування; автори Тулінов А.Б., Гончаров А.Б. [4,5] досліджували нові композиційні матеріали та прогресивні технології для відновлення гірничого обладнання; Шагара О.М. та Плотніченко М.В. [6,7] визначили фактори, що впливають на довговічність обладнання при абразивному зносі, а також вимоги до конструкційних матеріалів, які дозволяють збільшити міжремонтний період роботи обладнання; Дворук В.І. [8] запропонував реологокінетичну концепцію абразивної зносостійкості, яка дає можливість підвищити працездатність механічних трибосистем; у своїй роботі Кузусь Д.П. [9] запропонував рішення проблеми підвищення зносостійкості дисків валкового грохоту. Слід відзначити роботи під керівництвом проф. Іщенко А.О. [10-13] присвячені технологіям відновлення гірничо-збагачувального обладнання при абразивному зносі, визначенню інтенсивності зносу матеріалу для захисту деталей перекачуючого обладнання, авторами запропоновано спосіб захисту поверхні деталей від абразивного зносу [14], а також метод, що дозволяє визначити кількість абразивного зносу будь-

якого полімерного матеріалу на основі поліуретану, а також дає можливість вибору механічних властивостей захисного матеріалу, зокрема підбору і складу наповнювачів композитного матеріалу [10]. Спосіб зміцнення і відновлення зношених поверхонь металевих конструкцій, що працюють в умовах абразивного зносу запропоновано у роботі Журавльової С.М., Заньківа Я.Я., Потапенко Ю.В., а саме у «способі зміцнення і відновлення зношених поверхонь металевих конструкцій, які працюють в умовах абразивного зносу, що включає обробку і очищення зношеної поверхні металевої конструкції, приготування застигаючої у функції часу зносостійкої суміші із зносостійкої роздробленої або порошкоподібної мінеральної маси і полімерної речовини, і формування з приготованої суміші футерувального шару на поверхні металевої конструкції, що підлягає зміцненню або відновленню її зношеної поверхні, згідно з корисною моделлю, заздалегідь для ділянок поверхні металевої конструкції, схильної найбільшому ерозійному руйнуванню, виготовляють зносостійкі накладки, які встановлюють на поверхню незатверділого на даних ділянках футерувального шару, причому накладки виготовляють формою відповідною проектній формі поверхні металевої конструкції на даній ділянці, а зносостійкість згаданих накладок узятя не менше (2-6) μ , де: μ - зносостійкість футерувального шару» [15].

Визнаючи значущість попередніх досліджень слід відмітити, що переважна більшість розробок є вузькоспрямованою, тоді як існує потреба в універсальному підході до визначення зносу та зносостійкості різних видів обладнання, що працює при варіабельності експлуатаційних умов.

Постановка задачі. Багато підприємств займаються виготовленням та ремонтом деталей гірничо-збагачувальних машин, пропонуючи власні конструкційні та технологічні рішення. Проте наявність статистичних даних свідчить про значну кількість передчасних відмов конструктивних елементів у процесі експлуатації. Провівши аналіз причин передчасного спрацювання деталей, визначено необхідність дослідження можливості підвищення надійності шляхом впровадження у виробництво сучасних полімерних матеріалів та технологій їх виготовлення.

Викладення матеріалу та результати. В умовах гірничо-збагачувального виробництва особливість технологічних процесів пов'язана, насамперед, з впливом великої маси абразивної сировини на робочі поверхні устаткування гірничо-збагачувальних комбінатів і це призводить до того, що його призначений ресурс перевищує реальний у кілька разів. На частку цього виду руйнування припадає від 50 до 80% випадків передчасного виходу з ладу деталей різного призначення. У промислово розвинених країнах витрати на заміну деталей, зношених під дією абразиву, становлять 4% національного доходу [8].

Абразивний знос характеризується як найбільш поширений і найбільш інтенсивний процес руйнування матеріалів з усіх видів механічного зношування. Розробленню методики дослідження механізму зношування, визначенню класифікації абразивного зношування сталі й критеріїв вибору зносостійких матеріалів відповідно до виду зношування були присвячені роботи ряду авторів [1-3]. Було визначено, що під впливом більш твердих речовин ніж матеріал спряженої деталі під час тертя, відбувається зношування матеріалу. В якості твердих речовин виступають зерна абразиву. Це складне фізичне явище, яке супроводжується відривом частинок та руйнуванням поверхні металу. Існує декілька видів абразивного зношування, і усі вони відносяться до механічного, тобто до руйнування і відділення матеріалу від поверхні в результаті механічних дій. Власне абразивне зношування - це механічне зношування матеріалів, в основному при різальній або дряпаючій дії твердих часток, що знаходяться у вільному або закріпленому стані. При дослідженні процесу абразивного зношування необхідно враховувати наступні фактори, а саме структуру й властивості абразивної маси, характеристики зношуваної поверхні (механічні, структурні, хімічні) та особливості середовища, в якому протікає зношування.

Внаслідок особливості умов експлуатації, робочі органи гірничозбагачувального обладнання, що безпосередньо контактують з зернами абразиву, інтенсивно піддаються ударно-абразивному, гідро абразивному та газоабразивному зношуванню.

На рис. 1 наведені приклади газоабразивного зношування зношеного колектору хвостової частини агломераційної машини та лопаток ротора вентилятора.

Проведений аналіз статистики відмов ґрунтових насосів показав (рис.2), що причиною відмов на 40% є зношення корпусу (уліти), 23% - робочого колеса, тобто 63% відмов стається саме через гідроабразивне зношування.



Рис. 1. Дія газообразивного зношування

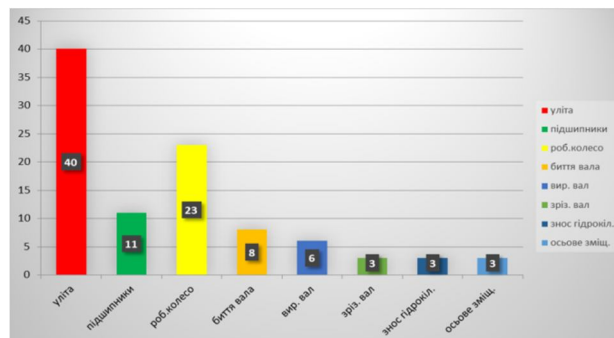


Рис. 2. Статистика відмов ґрунтових насосів

Характер гідроабразивного зношення показаний на рис.3 (робоче колесо) та рис. 4 (корпус)



Рис.3 Робоче колесо



Рис.4 Корпус

Аналіз літературних джерел показує, що на даний час ще не існує універсальних методів боротьби зі зношуванням, а також відсутні загальноприйняті критерії зносостійкості. Через це знижуються експлуатаційні показники зношених машин і багато часу витрачається на ремонт зношеного обладнання. Зносостійкість деталей залежить не тільки від зносостійкості матеріалів, але й від їх конструкції та умов експлуатації тобто визначає здатність матеріалу і конструкції деталі чинити опір зношуванню при певних умовах зовнішнього впливу. Тому деталі однакової конструкції, виготовлені з одного матеріалу, матимуть різну зносостійкість на різних збагачувальних фабриках, так як умови їх експлуатації і технології будуть різні [6].

Визначено, що оцінювання зносу можна узагальнити наступним співвідношенням [8]

$$\frac{h}{L} = K \frac{P}{P_T}, \quad (1)$$

де h – лінійний знос; L – шлях тертя; P – питоме навантаження; K – коефіцієнт пропорційності; P_T – тиск текучості.

Однак, в залежності від особливостей умов експлуатації, до абразивного зношування додаються корозійні процеси, кавітаційний знос, адгезійний знос, феттинг корозія та інші процеси [13]. Тобто зношування робочих поверхонь гірничозбагачувального обладнання носить комбінований характер. Не зважаючи на те, що існує багато способів (футерування, наплавлення, металізація, зварювання, пайка та ін.) захисту і відновлення деталей та вузлів, кожен з них розрахований під окремий тип зносу, але у разі комбінації декількох видів зносу такі способи захисту можуть виявитися неефективними.

Саме застосування полімерних матеріалів може дати можливість, за рахунок наповнювачів і модифікаторів, отримувати необхідні властивості захисного шару поверхонь, що зношуються, від різних видів абразивного зносу. До того ж ремонт та відновлення деталей, а особливо великогабаритних деталей потребує великих фінансових, матеріальних та трудових ресурсів. Тому виникає необхідність в технологіях ремонту обладнання, які не вимагають значних фінансових вкладень, матеріальних і трудових ресурсів. Саме таким вимогам відповідають технології ремонту з використанням полімерних композиційних матеріалів. Застосування полімерних композиційних матеріалів має ряд суттєвих переваг, а саме: відносно низьку собівартість у порівнянні з металами; простоту застосування; універсальність при відновленні деталей з кольорових і чорних металів та ін.; високу хімічну стійкість полімерів до різних агресивних середовищ;

можливість отримання різноманітних, іноді унікальних фізико-хімічних властивостей полімерних композиційних матеріалів, що часто перевершують за своїми експлуатаційними характеристиками метали; малою питомою масою полімерів; шумо- та вібропоглинанням; антифрикційними й електроізоляційними властивостями.

Відновлення деталей металополімерними композиціями має ряд специфічних особливостей в порівнянні з відновленням деталей металами, обумовлених, передусім, використанням хімічної енергії для забезпечення реакції полімеризації. В цьому випадку необхідно в ході технологічного процесу управляти формуванням властивостей полімерного матеріалу, показники якого відрізняються від показників властивостей металевої деталі. Тому незначне відхилення від оптимальних умов може привести до різкого погіршення якості відновлюваної деталі [4]. При відновленні деталей металополімерами є певний "запас" якості, внаслідок чого режими відновлення не такі жорсткі. Але при цьому принципового значення набувають такі операції, як підготовка поверхонь деталей, приготування і нанесення ремонтних композицій, теплова і механічна обробка деталей [5].

Для захисту барабана магнітного сепаратора від абразивного зношування передбачається футерування з гуми або нержавіючої сталі з установкою на торцях спеціально розроблених манжет. Для більшого захисту від зносу збільшують товщину футерування. Але при цьому збільшується вага сепаратора і, що важливо, це призводить до зменшення дії силового поля магнітів. Застосування полімерних матеріалів дозволить не зменшувати силу магнітного поля, таким чином буде досягнута висока технологічність розділення сировини і не відбудеться намагнічування інших частин сепаратора.

В корпусах, що мають складну конфігурацію, зокрема в корпусі ґрунтового насоса, внутрішня його робоча поверхня зношується нерівномірно. Ділянки робочої поверхні, де потоки плинного агресивного середовища змінюють напрям і супроводжуються виникаючою при цьому турбулентністю, піддаються найбільшому ерозійному руйнуванню, що призводить до руйнування на даних ділянках робочої поверхні корпусу або зміцнюваного футерувального на ньому захисного шару [15]. Усі деталі, що контактують з абразивним середовищем - корпус, робочі колеса, комплектуються захисними швидкозмінними вкладишами. В якості зносостійкої основи конструкцій захисних вставок шламових насосів, зазвичай, використовують низьколеговані середньовуглецеві сталі або гуми.



Рис. 5. Відновлений корпус і робоче колесо

Використання, наприклад, синтетичного еластомерного покриття холодного напилення дозволяє збільшувати термін служби устаткування у декілька разів. Матеріал наноситься за допомогою спеціального пневмопістолету холодним способом без попередньої або подальшої температурної обробки області, що покривається. Використання спеціальних праймерів дозволяє досягти необхідної адгезії з поверхнею. На рис. 5 наведений приклад відновленого корпусу та робочого колеса шламового насосу матеріалом МетаЛайн 700.

Однак на даний час відсутні системні висновки щодо визначення існуючих способів захисту, зносостійкості та ресурсу роботи гірничо-збагачувального обладнання, що працює в умовах абразивного зносу. Залишаються питання технології підготовки та нанесення захисних полімерних покриттів, а також можливості заміщення металевих деталей на полімерні без втрати їх експлуатаційних властивостей.

Висновки. Таким чином, застосування та вдосконалення полімерних композитних матеріалів є перспективним напрямком розвитку технологій ремонту гірничо-збагачувального обладнання завдяки можливостям зміни фізико-хімічних показників і, як наслідок, експлуатаційних властивостей полімерів та зміни технологій їх нанесення. Паралельним напрямком розвитку є можливість створення нових суперміцних полімерних матеріалів і композицій, з метою заміни металевих деталей на полімерні деталі, які не будуть поступатися їм за експлуатаційними властивостями, але дадуть можливість значно зменшити собівартість продукції, енергозатратність

виробництва та зменшити вагу конструкцій і металоємність вузлів, що є подальшим напрямком наших досліджень.

Список літератури

1. **Виноградов В. Н.** Абразивное изнашивание / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, М. Г. Колокольников. – Москва: машиностроение, 1990. – 221 с.
2. **Виноградов В. Н.** Природа контактных деформаций при свободном ударе твердой абразивной частицы по стали / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, М. Г. Колокольников. // Изв. вузов. Нефть и газ. 1981. -№ 4. - С. 69-73.
3. **Виноградов В. Н.** Изнашивание при ударе. / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, А. Ю. Албагачиев. – Москва: машиностроение, 1982. – 192 с.
4. **Тулинов А.Б.** Новые композиционные материалы в ремонтном производстве / А.Б. Тулинов, А.Б. Гончаров // Ремонт, восстановление, модернизация. 2003. -№11.- С.46-47.
5. **Тулинов А.Б.** Новые композиционные материалы для сборочных и ремонтных работ. / А.Б. Тулинов, А.Б. Гончаров // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2003. - № 7. - С. 26-28.
6. **Плотниченко Н. В.** Требования к конструкционным материалам, способным увеличить межремонтный период оборудования при работе в гидроабразивных средах / Н. В. Плотниченко, О. Н. Шагарова. // Сб. научн. тр. студ. и магистров, М.:МГТУ. – 2005. – №5 - С.250–255.
7. **Шагарова О. Н.** Факторы, влияющие на долговечность горно-обогатительного оборудования при абразивном изнашивании / О. Н. Шагарова. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – №22. – С.178–181.
8. **Дворук В. И.** Реолого-кинетическая концепция абразивной износостойкости и ее реализация в управлении работоспособностью механических трибосистем : дис. докт. техн. наук : 05.02.04 / Дворук Владимир Иванович – Киев, 2007. – 471 с.
9. **Кузев Д. П.** Повышение износостойкости дисков валкового грохота для сортировки кокса : дис. канд. техн. наук : 05.02.04 / Кузев Данил Петрович – Москва, 2009. – 140 с.
10. **Ищенко А. А.** Определение интенсивности абразивного износа защитного полимерного покрытия / А. А. Ищенко, Е. В. Дашко. // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія : Технічні науки.. – 2015. – №30. – С. 86–91.
11. **Ищенко А.А.** Технологические основы восстановления промышленного оборудования современными полимерными материалами / А.А. Ищенко. – Мариуполь: ПГТУ, 2007. – 250 с.
12. **Ishenko Anatoliy** The researches of abrasion-resistant characteristics of polymeric material used when repairing of pumping equipment / Anatoliy Ishenko, Helen Dashko // Metallurgical and Mining Industry. No 6. - Dnipropetrovsk "Metljournal", 2015. – P. 327-332 (Scopus).
13. **Носовська О. В.** Підвищення надійності шламових насосів шляхом вдосконалення конструктивних елементів корпусів при їх відновленні: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.05.08 / Національна металургійна академія України – Маріуполь, 2017. – 178с
14. Патент України. 112201 UA, Спосіб захисту поверхні деталей від абразивного зносу / А.О. Ищенко, О.В. Дашко, Ю.С. Щербакова, М.М. Алексєнко / номер заявки U201605345; заявл. 17.05.2016; опубл. 12.12.2016 - Бюл. №23
15. Патент України 83297 UA, Спосіб зміцнення і відновлення зношених поверхонь металевих конструкцій, що працюють в умовах абразивного зносу / С.М. Журавльова, Я.Я. Заньків, Ю.В. Потапенко / номер заявки U201307965, заявл. 25.06.2013, опубл. 27.08.2013 – Бюл. №16
16. Футеровка деталей шламовых насосов [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://rospostavki.com/product/view/futervka-detalej-slamovyh-nasosov>.

Рукопис подано до редакції 01.04.2019

УДК 005.591.6:[66.047:544.023.5-03]

О.В. ЗАМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., Н.В. БОНДАР, ст. викладач,
С.О. КРАДОЖОН, аспірант, Криворізький національний університет

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОЦЕСІ СУШКИ ТОНКОДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета. Метою даної роботи є аналіз стратегії вибору оптимального апаратно-технологічного оформлення процесу сушіння тонкодисперсного матеріалу, що включає комплексний аналіз матеріалу як об'єкта сушіння; визначення оптимального режиму сушки з урахуванням технологічних вимог до якості висушеного продукту; рекомендований порядок вибору сушильних апаратів для тонкодисперсних матеріалів.

Методи дослідження. У роботі використані теоретичні та емпіричні методи дослідження. Проведено аналіз сучасного стану використання сушильних установок, розглянуто найбільш поширені способи сушки та виявлено найбільш ефективні методи інтенсифікації процесів сушки.

Наукова новизна. В доповіді проаналізовані основні особливості сушки тонкодисперсних матеріалів. Зроблено висновок про енергоефективність та економічність сушильних апаратів, це і зумовило актуальність даної теми дослідження.

Практична значимість. Аналіз сучасних методів сушки тонкодисперсних матеріалів дозволив виявити основні проблеми галузі та знайти найбільш ефективні методи інтенсифікації процесу сушки. Був визначений оптимальний режим сушки з урахуванням технологічних вимог до якості висушеного продукту.

Результати. При сушці тонкодисперсних матеріалів важливою проблемою є забезпечення екологічної та виробничої безпеки сушильних установок. Проаналізувавши різновиди сушки тонкодисперсних матеріалів стає очевидним, що кожен з них має свої переваги та недоліки в процесі експлуатації, але застосування методу сушіння тонкодисперсних матеріалів за допомогою електричного струму, є більш доцільним у порівнянні з іншими. Електричний струм пропускають напругу через шар вологого матеріалу. При цьому вологий матеріал приводять в контакт з електродами і включають безпосередньо в електричний ланцюг, через який пропускають електричний струм. Це забезпечує найкращі показники енергозбереження, екологічності та енергоспоживання.

Одне з головних питань - це забезпечення очищення від пилу та створення безуносних сушилок. Були розглянуті основні методи зневоднення тонкодисперсних матеріалів, вивчені теоретичні та механічні засади сушильних процесів.

Ключові слова: сушильні установки, енергоефективність, тонкодисперсні матеріали, інноваційні технології.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-83-88

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В даний час існує безліч способів сушіння тонкодисперсних матеріалів, але їх технології є застарілими. Тому необхідно здійснити пошук нових методів сушіння з впровадженням оновленого устаткування. Це забезпечить більш ефективну роботу підприємства, що в свою чергу поліпшить його економічний стан. За останні роки не часто згадується про модернізування та розроблення нових технологій в сфері сушіння. Одними із найвідоміших методів є: конвективний (сушарки барабанні, турбінні, киплячого шару, розпилюючі), контактний, радіаційний, віброаерокиплячого шару, струмами високої частоти. Однак всі вони мають ряд суттєвих недоліків.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання сушки тонкодисперсних матеріалів широко висвітлені в роботах: А. В. Ликов, О. В. Замицький [3,4], Б. С. Сажин [1], В. И. Коновалов [2], Arun S. Mujumdar [6], Helmuth Resch [5], С. С. Кочетов [7], Т. Ф. Киселева [8] та інші.

Постановка завдання. Метою даної статті є аналіз вибору оптимального апаратурно-технологічного оформлення процесу сушки конкретного матеріалу з урахуванням останніх розробок у цій сфері.

Викладення матеріалу та результати. Конвективній сушці піддають кускові та зернові матеріали. Як сушильний агент застосовуються нагріте повітря, топкові гази або перегрітий пар. Сушильний агент передає матеріалу теплоту, під дією якої з матеріалу видаляється волога у вигляді пари, яка надходить в навколишнє середовище. Таким чином, сушильний агент при конвективній сушці є теплоносієм і поглиначем вологи.

Конвективний спосіб сушіння відрізняється простотою та можливістю регулювання температури матеріалу. Недоліком його є протилежний зміст градієнтів вологовмісту і температури.

Контактна сушка вологих матеріалів здійснюється в вальцевих сушильних установках у результаті безпосереднього контакту матеріалу з нагрітою плоскою або циліндричною поверхнею. Зміна вмісту вологи матеріалу відбувається наступним чином. На початку процесу вона починає зменшуватися на контактній і відкритій поверхні матеріалу; з плином часу більш різко зменшується вологість шарів матеріалу у контактній поверхні. При сушінні колоїдних капілярно-пористих тіл максимальна кількість вологи видаляється з шару, розташованого ближче до відкритої поверхні; при сушінні колоїдних матеріалів - з шару, розташованого ближче до гріючої поверхні. Градієнт вмісту вологи у матеріалі, який висушують, в основному обумовлений пароутворенням в контактному шарі і на відкритій поверхні. Інтенсивність пароутворення і механізм перенесення вологи залежать від температури гріючої поверхні і товщини матеріалу [1,12].

Зневоднення в радіаційних сушарках відбувається прямим впливом на висушуваний продукт променів інфрачервоної частини спектра (ІК-променів) і проводиться за допомогою ламп інфрачервоного випромінювання або нагрітих поверхонь. Радіаційна сушка застосовується переважно як допоміжний спосіб для прискорення зневоднення в комбінації з конвективним, контактним або сублімаційним способом сушіння. Такі сушарки застосовуються, коли необхідно висушувати тонкий шар матеріалу, наприклад для сушки забарвлених металевих виробів,

паперу, тканини, штукатурки, сипучих матеріалів і т.д. У радіаційних сушарках тепло передається матеріалу в основному випромінюванням від електроспіралі, спеціальних ламп розжарювання та кварцових трубок або більш економічним способом - від керамічних або металевих панелей, що обігріваються газами [13].

Проведення процесу в віброкиплячому шарі дозволяє значно збільшити поверхню контакту між частками матеріалу і теплоносієм, інтенсифікувати випаровування вологи з матеріалу і скоротити тривалість сушіння до декількох хвилин. Віброкиплячий шар утворюється під впливом вібраційних коливань на шар дисперсного матеріалу. Принцип створення віброкиплячого шару полягає у тому, що необхідне розпушування і інтенсивне перемішування матеріалу досягається за рахунок аеродинамічних сил, які проходять як через шар сушильного агента, так і шляхом впливу вібраційних коливань на матеріал.

Киплячий шар має низку недоліків: невисока продуктивність сушіння кінцевого продукту. Так, при сушінні високовологих і схильних до злипання матеріалів у шарі виникає неоднорідна структура: з'являються газові бульбашки, нестійкі канали, свищі, що негативно позначається на процесі сушіння. Такі явища в киплячому шарі викликані нерівномірним розподілом газового потоку по перерізу сушильного простору, утворення застійних зон і областей взаємодії матеріалу з сушильним агентом.

При сушці струмами високої частоти підведення тепла здійснюється за допомогою поля електричного струму високої (10-25 мГц) і надвисокої (2000-2500 мГц) частоти.

При сушінні матеріал поміщається між обкладками конденсатора, до яких подається струм високої або надвисокої частоти. Обкладки мають протилежні заряди, тому іони і електрони переміщуються всередині матеріалу до тієї чи іншої обкладки. Під дією змінного електричного поля високої частоти відбувається регульований нагрів матеріалу. При такому способі сушіння випаровування відбувається по всьому об'єму. Змінюючи напруженість поля, можна регулювати температуру матеріалу при сушці.

Недоліки даного способу: високі витрати електроенергії, складне устаткування і обслуговування. Сушка струмами високої частоти дорожче конвективного сушіння в 3-4 рази. [8,15]

Так як описані вище методи сушки мають низку недоліків, відбувається пошук нових методів та технологій сушки тонкодисперсних матеріалів. До інноваційних технологій сушіння відносяться:

Механічне зневоднення. Для зменшення теплового навантаження на сушарки важливо мінімізувати вміст вологи в матеріалі. Зневоднення тонкодисперсних матеріалів важко здійснити через їх малі розміри, тому в останні роки успішно розвивалися наступні методи: електроосмотичне зневоднення, перерване електроосмотичне зневоднення, поєднання вакуумної фільтрації з електроосмотичним зневодненням, комбіноване зневоднення поля, мікрофільтрація з підтримкою вібрації. Хоча деякі з перелічених вище інноваційних концепцій були успішно комерціалізовані, існує потенціал для їх подальшого вдосконалення та експлуатації [6,9].

Сушарки з псевдорозрідженим шаром. Особливістю даних сушарок є протитечійне перемішування, завдяки якому вологість кінцевого продукту є достатньо однорідною у всьому об'ємі сушарки. Волога сировина поступає в шар з одного боку сушарки та інтенсивно перемішується з матеріалом, що міститься в ній. Висушений кінцевий продукт виводиться через патрубок на протилежному боці сушарки. Середня вологість шару практично рівна вологості шару кінцевого продукту, що виводиться. За останні три десятиліття сушарки з псевдорозрідженим шаром стали дуже популярними завдяки їх чисельним перевагам.

Сушарки з киплячим шаром. У сушарках киплячого шару матеріал, що надходить на розподільну решітку, продувається наскрізь нагрітим газом зі швидкістю, необхідною для створення киплячого шару. Сушарки можуть працювати як під тиском газу, так і під розрідженням, але перші отримали більше розповсюдження. Сутність даного способу сушки полягає у тому, що вихідний матеріал на розподільній решітці потоками газу приводиться у псевдорозріджений стан. Швидкість потоку газу крізь решітку підбирається такою, щоб матеріал на решітці перебував у завислому «киплячому» стані. У стані «кипіння» кожна частинка омивається потоком гарячих газів, у результаті чого між газом та матеріалом, що забезпечує гарний контакт. При проходженні димових газів крізь киплячий шар з поверхні частинок випарюється волога [7,10].

Сушіння розпиленням. Для висушування тонкодисперсних суспензій і розчинів широко використовують розпилюючі сушарки. Розпилювальне сушіння в основному застосовується, як-

що необхідно випарувати розчинник і отримати з висушуваного матеріалу порошкоподібний або гранульований сухий продукт. Економічна доцільність розпилювального сушіння особливо очевидна при необхідності сушіння матеріалів, близьких до стану насичення, а також при організації у камері сушарки комбінованого процесу гідротермічної обробки. Висушувані матеріали спеціальними пристосуваннями (обертливими дисками, форсунками) диспергуються у сушильній камері, через яку протікає тепло- і вологоносії в газоподібному стані (нагріте повітря, гази продуктів горіння палива, перегріта пара та інше.). Завдяки розвиненій поверхні диспергованих частинок відбувається інтенсивний тепло- і масообмін з агентом сушіння (теплоносієм), і розпорошені частинки швидко віддають свою вологу. Сухий продукт у вигляді порошку падає на дно сушильної камери, звідки безперервно видаляється. Невипавша частина висушених часток видаляється з відпрацьованого газу або повітря в пиловідокремлювачах (тканинних фільтрах, циклонах, скрубберах і т.д.) [2,11].

Найважливішою умовою для правильного сушіння є розпилення матеріалу для отримання частинок, максимально однакових за розміром. Це може бути досягнуто підбором відповідної розпилювальної форсунки або диска, регулюванням тиску рідини або повітря в форсунці, швидкості обертання розпилювального диска, в'язкості і температури матеріалу, а також вмісту в ньому сухих речовин.

Радіочастотні / вакуумні сушарки. Використовування радіочастотного-нагрівання, в комбінації з вакуумним сушінням стало найкращим варіантом для більшості застосувань у промисловості твердих тонкодисперсних матеріалів. Принцип дії якого полягає в використанні високочастотного-генератору, який працює з частотою 2 - 4 МГц. Камера, що має ємність приблизно 20м³, і може витримувати тиск, що дорівнює 2.3 кПа [5,14].

Технології радіочастотної сушки у поєднанні з вакуумом вдалося висушити великі розміри пиломатеріалів, які зазвичай не висушують звичайні печі, оскільки сушарки для гарячого повітря потребують надмірних часів і викликають неприйнятні дефекти. На основі вимірювання внутрішнього тиску під час сушіння і залишкової деформації в деревині було зроблено висновок, що механізм сушіння являє собою поєднання потоку тиску і дифузії води на поверхню. Це той потік, який пояснює високий рівень сушіння, а також низький рівень напруження.

Вакуумні сушарки є свого роду сушильними машинами, які застосовуються при низькій температурі в вакуумі, а це набагато швидше, ніж в звичайних печах. Принцип високої частоти електричного поля - як основне джерело для опалення, він діє на матеріал рівномірно. Інтенсивність обігріву безпосередньо залежить від вмісту води в матеріалі та електричного поля, в той час як переміщення води залежить від проникності матеріалу та внутрішнього градієнта тиску.

Комбіновані процеси сушки. Комбіновані сушильні установки дозволяють більш якісно просушити матеріал в порівнянні з іншими сушарками. Класичним прикладом є повторне висушування шпону після первинного сушіння або з використанням мікрохвиль чи радіочастотного струму, з'єднаного з конвекцією гарячого повітря.

З вище сказаного можна зробити висновок, що існуюче обладнання для сушіння тонкодисперсних матеріалів має ряд суттєвих недоліків, тому розробка нових способів сушки є актуальною задачею на теперішній час. Спосіб сушки дисперсних матеріалів за допомогою електричного струму. Електричний струм пропускають безпосередньо через шар вологого матеріалу. При цьому вологий матеріал приводять в контакт з електродами та включають безпосередньо в електричний ланцюг, через який пропускають електричний струм. При проходженні електричного струму через вологий матеріал в останньому виділяється теплова енергія, яка призводить до розігріву і випаровуванню води. У зв'язку з тим, що при зменшенні вологості матеріалу, величина струму, що протікає через матеріал і кількість тепла, що виділяється мимовільно знижуються, контроль за процесом сушіння здійснюють за величиною струму, що протікає в ланцюзі. Вакуумна обробка або продування просушуємого матеріалу стисненим повітрям або іншим газом одночасно з пропусканням електричного струму полегшує видалення парів води і прискорює процес сушіння.

Нами запропонований метод, який полягає в підвищенні продуктивності процесу і зниженні його енергоємності, за рахунок впливу електричним струмом тільки на тонкий шар матеріалу висотою 20 ... 30 мм, а пари що утворюються створюють надлишковий тиск в цьому шарі, що призводить до видалення (витискання) води з необроблюваного шару [3,4]. Використо-

вуючи даний спосіб, видалення вологи відбувається комбіновано: за рахунок резистивного нагріву рідкої фази тонкого шару і пароутворення в ньому та за рахунок надлишкового тиску в оброблюваному шарі в результаті чого видаляється вільна капілярна волога з необроблюваного шару. Такий комбінований вплив електричного струму і надлишкового тиску парів дозволяє отримати велику інтенсивність зневоднення при мінімальній енергоємності процесу. Поставлена мета досягається тим, що зневоднюючий агрегат містить електроди пластинчастої форми, які встановлені над зневоднюючим матеріалом і мають можливість контакту з останнім шляхом занурення електродів в матеріал на глибину 20...30 мм, а над електродами встановлений герметизуючий кожух.

Реалізація даного методу на практиці. Запропонований спосіб був реалізований в пристрої зображеному на рис.

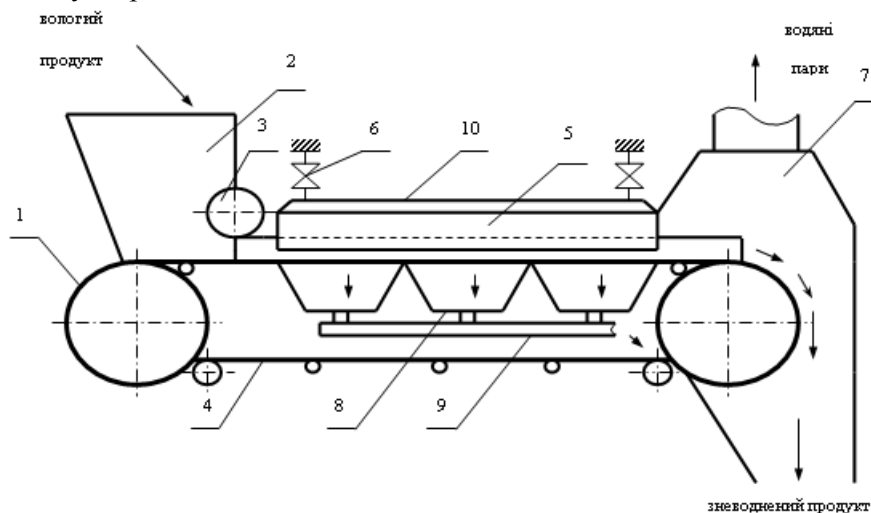


Рис. Пристрій для комбінованого способу зневоднення продуктів збагачення: 1 – фільтротканина; 2 – бункер-живильник; 3 – барабан-ущільнювач; 4 – отвори; 5 – пластинчасті електроди; 6 – ізолятори; 7 – зонт; 8 – воронки; 9 – колектор; 10 – герметизуючий кожух

Установка (рис.) аналогічна за конструкцією стрічковому вакуум-фільтру і складається з горизонтального стрічкового конвеєра 1 на початку якого встановлений бункер-живильник 2. У розвантажувальній щілині бункера-живильника 2 встановлений барабан-ущільнювач 3. Стрічка конвеєра 3 обладнана отворами 4 для пропуску фільтрату і покрита фільтротканиною 1. Уздовж робочої гілки конвеєра підвішені пластинчасті електроди 5, закріплені на ізоляторах 6 таким чином, що електроди контактують з верхнім шаром оброблюваного матеріалу. Електроди 5 з'єднані з шиною для підведення електроенергії. В кінці конвеєра встановлено зонт 7 для відводу водяної пари.

Під робочою гілкою конвеєра встановлені воронки 8 для прийому фільтрату. Воронки 8 з'єднані з колектором 9 для відведення фільтрату. Установка працює таким чином. Вологий матеріал, який підлягає зневодненню, подається з бункера-живильника 2 на рухому стрічку конвеєра і ущільнюється барабаном-ущільнювачем 3. Потім продукт надходить в простір між електродом 5 таким чином, що між електродом 5 і продуктом є електричний контакт. Електричний струм через електроди 5 протікає по рідкій фазі продукту і резистивно розігріває рідину, перетворюючи її на пару, в результаті чого підвищується тиск в оброблюваному шарі продукту (назовемо його «активним»). Завдяки підвищенню тиску в активному шарі, з нижчого шару видавлюється вільна капілярна волога, як при традиційній фільтрації під різницею тисків. Фільтрат збирається в воронки 8 і колектором 9 відводиться в хвіст канами. Остаточне видалення парів рідини з активного шару (у вигляді пари) відбувається при розпушуванні продукту в момент розвантаження з конвеєра 1. Пари відводяться за допомогою зонту 7. Ізолятори 6 служать для ізоляції електродів 5. Над електродом 5 встановлений герметизуючий кожух 10.

Даний спосіб був реалізований на лабораторній установці, виконаній за схемою наведеною на рис. До електродів установки підводився змінний струм промислової частоти напругою 36 В. Техніко-економічні показники запропонованого способу, отримані при випробуваннях лабораторної установки, а також показники відомих способів показують, що даний спосіб має

найвищу питому продуктивність у порівнянні з усіма існуючими способами. Питома витрата умовного палива на випаровування 1кг вологи приблизно 0,068кг, а питома продуктивність близько 18 т/ч.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Таким чином, проаналізувавши різноманітні сушки тонкодисперсних матеріалів ми можемо помітити, що кожен з видів має свої переваги та недоліки в процесі експлуатації, але застосування методу сушіння тонкодисперсних матеріалів за допомогою електричного струму, який пропускають безпосередньо через шар вологого матеріалу, має ряд переваг на відміну від існуючих, що свідчить про доцільність його впровадження.

Перевагами даного способу є: найменша витрата умовного палива для випаровування 1 кг вологи, низькі економічні витрати при впровадженні на виробництво, низький рівень викидів забруднених газів в атмосферу.

В подальшому планується встановлення закономірностей даного методу для поліпшення якості кінцевого продукту і підвищення енергоефективності процесу сушки тонкодисперсних матеріалів.

Список літератури

1. Сажин Б.С. Научные основы техники сушки / Б.С. Сажин, В.Б. Сажин // М.: Наука. – 1997. – 448 с.
2. Коновалов, В.И. Новые зарубежные исследования в области сушки и термообработки: результаты и тенденции (1. Библиография. 3. Программное обеспечение) / В.И. Коновалов, Т. Кудра, Н.Ц. Гатапова // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 3. – С. 530–537
3. Каварма И.И., О.В. Замыцкий // Деп. рук. в ГНТБ Украины, 1994
4. Замыцкий О.В. Экологически чистый способ доводки тонкодисперсных продуктов обогащения по влажности / Замыцкий О.В. // МГТУ. - М.- 1995.- № 3. – С. 82-84
5. Helmuth Resch High-frequency electric current for drying of wood – historical perspectives. Maderas. Ciencia y tecnología 8(2). –2006. – с.67-82
6. Arun S. Mujumdar Innovation in drying techniques and future trends. Springer-Verlag Tokyo 2001 с.63-75
7. Декл. пат. 2303219. Российская Федерация, МПК F26B3/092. Сушилка с виброкипящим слоем / Кочетов С.С.; Кочетова М.О.; Львов Г.В.; Кочетов С.С.; Кочетов О.С. – Опубл. 20.07.2007
8. Киселева Т.Ф. "Технология сушки: Учебно-методический комплекс", Киселева Т.Ф. // Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. - Кемерово, 2007. - 117 с.
9. Данилов О.Л. Экономия энергии при тепловой сушке. / Леончик Б.И., Данилов О.Л., // М. - 1986.- 135 с.
10. Дерягин Б.В. Вода в дисперсных системах/ Б.В. Дерягин, Н. В. Чураев, Ф.Д. Овчаренко и др. – М.: Химия, 1989.– 288 с.
11. Корягин А.А. Сушильные аппараты и установки, каталог./ Корягин А.А. // 1989.- с. 11
12. Рудобашта С.П. Математическое моделирование процесса конвективной сушки дисперсных материалов/ Рудобашта С.П. // Известия Академии наук. Энергетика.- 2000. - №4.- С. 98-109
13. Фролов В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов/ Фролов В.Ф. // Л.: Химия. - 1987.- 208 с.
14. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности / Лыков М.В. // М. : Химия, 1970. – 429 с
15. Лыков А.В. Теория тепло- и массопереноса / Лыков А.В. , Михайлов Ю.А. // М. : Госэнергоиздат, 1963. – 536 с.

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 37.091.355.2.199

Є.О. НЕСМАШНИЙ, д-р техн. наук, проф., Г.І. ТКАЧЕНКО, канд.техн.наук, доц.
К.В.ГЕРАСИМОВА, канд.техн.наук, доц., Криворізький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ ЧИСЕЛЬНИХ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Мета. В статті науково обґрунтовано необхідність впровадження інноваційних педагогічних технологій у процес професійної підготовки студентів, вибір яких пов'язаний з інформаційними технологіями та студентів технічних спеціальностей. У фізиці історично моделювання є одним із важливіших методів дослідження. Тому висвітлюється проблема створення на заняттях з фізики такого освітнього середовища, в якому органічно поєднуються традиційні і комп'ютерні методи навчання. Одним з найбільш надійних способів аналізу реального фізичного процесу є математичне та імітаційне моделювання. Добре побудована модель більш доступна для досліджень ніж реальний об'єкт. Розглядається доцільність використання чисельних методів моделювання при вивченні фізичних процесів з метою активізації пізнавальної діяльності та розвитку наукового мислення студентів.

Методи дослідження. Зроблений аналіз існуючих навчальних комп'ютерних програм, стандартних пакетів прикладних програм, сучасних мов програмування і проведений педагогічний експеримент висвітлив психологічні і технічні проблеми пов'язані з інформатизацією освіти.

Наукова новизна. Запропоновано спосіб використання методу імітаційного моделювання для активізації пізнавальної самостійності студентів при рішенні практичних задач з фізики за професійним спрямуванням.

Практичне значення. Розроблено блок теоретичного матеріалу та банк практичних завдань з фізики за професійним спрямуванням, який дозволяє студентам використовувати прикладні пакети створених програм та мови програмування на практиці при моделюванні та рішенні конкретних фізичних задач.

Результати. Методологічно обгрунтована доцільність та ефективність використання методу імітаційного моделювання при вивченні курсу фізики в рамках учбового процесу студентами ІТ-профілю та технічних спеціальностей. Експериментально виявлені умови та проблеми впровадження нових інформаційних технологій при вивченні фізики для студентів першого курсу. Доведено, що в умовах швидкого розвитку інформаційних технологій необхідно активізувати використання студентами сучасних знань при вивченні фундаментальних дисциплін, що буде позитивно сприяти досягненню більш високого рівня компетентності та пізнавальної активності. Інтеграція ІТ-дисциплін і фізики стимулює розвиток творчого і наукового мислення студентів, підвищує інтерес до вивчення предмету. Отримані результати, може бути використані для подальшого розвитку сучасних педагогічних методів навчання в закладах вищої освіти, що дозволить забезпечити більш якісні результати при отриманні знань по фізиці.

Ключові слова: освітнє середовище, фізика, інформаційні технології, комп'ютерні програми, чисельні методи, імітаційне моделювання, фізичні процеси.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-88-94

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Для студентів вищих закладів освіти навички наукового мислення грають дуже важливу роль, коли виникає необхідність дослідження процесів, що відносяться до «суміжних дисциплін», які належать до різних областей науки, техніки, екології, геомеханіки, геології, гірництва та ін. Процес інтеграції дисциплін відбувається найефективніше, коли майбутній спеціаліст володіє науковими і обчислювальними методами і принципами наукового мислення.

Проблема формування у студентів пізнавальної активності, як майбутніх інженерів, полягає у розриві між методами отримання наукових і практичних результатів і методами їх викладання на аудиторних заняттях. Підручники, методичні посібники і лекції базуються на тезисному викладенні готових наукових результатів і фактів. Складається враження, що фізичні закони уявляють собою логічно необхідні твердження, для обґрунтування яких немає необхідності спиратися на експериментальні факти. Є ризик у майбутньому знехтувати вирішенням конкретних задач, які складають основу будь якої практичної діяльності у житті.

В умовах глобального скорочення аудиторних годин на вивчення фізики, найскладнішими задачами викладачів є наступні: - мотивувати студентів до самостійної роботи. З розвитком комп'ютерної техніки і подорожчанням експериментальної та лабораторної бази приладів роль чисельного моделювання фізичних процесів в навчанні значно підвищується. Для студентів технічних спеціальностей комп'ютер як прилад для повноцінної імітації реального фізичного процесу є необхідною складовою в навчанні. Але не всі студенти, а фізика вивчається на першому курсі, в достатній мірі володіють мовами програмування. Тому використання комп'ютерів на заняттях має дуже багато обмежень. З одного боку це пов'язано з недостатньою розробкою програмних засобів та навчальних комп'ютерних програм. З іншого – недостатнім володінням студентами комп'ютерними та інформаційними технологіями. Актуальною є проблема створення на заняттях такого освітнього середовища, в якому органічно поєднуються традиційні і комп'ютерні методи навчання. В умовах малого аудиторного навантаження масовому впровадженню електронних технологій в саму організацію навчального процесу, на наш погляд, заважають наступні фактори:

залежність від технічних засобів. Не всі учбові заклади мають достатню кількість аудиторій з потрібним оснащенням.

низький рівень комп'ютерної грамотності. Це відноситься як до студентів так і до викладачів.

низька вмотивованість до самостійного навчання та опрацювання матеріалу.

Аналіз досліджень і публікацій. У фізиці історично моделювання є одним із важливіших методів дослідження. Поряд з традиційним розділенням фізики на експериментальну і теоретичну сьогодні чітко і впевнено можна виділити третій фундаментальний розділ – обчислювальну фізику і комп'ютерне моделювання. Так тільки за допомогою комп'ютерного моделювання

фізики змогли змодельовати бозон Хікса, відкрити гравітаційні хвилі. Але проведений аналіз навчальних комп'ютерних програм, стандартних пакетів прикладних програм і проведений педагогічний експеримент висвітлив психологічні і технічні проблеми пов'язані з інформатизацією освіти.

Студентів на лекціях і практичних заняттях завжди більш цікавить рішення задач, які виникають в практичній діяльності людини або при дослідженні природних явищ. Не всі природні явища можна відтворити експериментально, на фізичних моделях. Надійним шляхом для таких досліджень сьогодні вважається імітаційне моделювання. Після постановки завдання на фізичному рівні відбувається процес ідеалізації і схематизації явища. Реальні процеси і явища часто характеризуються обмеженою кількістю спостережень, похибками вимірювань, і завжди лише наближеним характером наших фізичних уявлень про процеси, які відбуваються у тій чи іншій ситуації. Тому проведення експериментів на фізичних моделях не завжди адекватно реальним ситуаціям. Це – самий складний і трудомісткий тип моделей, що є основним недоліком цього методу. Як наслідок, виникає необхідність описувати і досліджувати реальну ситуацію за допомогою інших моделей. [1- 4].

У моделюванні всі завдання і моделі можна умовно поділити на два великих класи: інформаційні моделі і аналітичні моделі [4].

До інформаційних моделей відносяться всі моделі і задачі, що пов'язані зі збиранням, зберіганням та відображенням інформації про об'єкт, що досліджується.

Підвищення ефективності створення моделі ґрунтується на інтенсифікації самого процесу дослідження, тобто за рахунок більш повного використання вихідної інформації, створення різноманітних моделей для прогнозування фізичних процесів. Необхідність використання прогнозних моделей виникає у випадках, коли отримати рішення на реальному об'єкті дослідження дорого, складно або взагалі неможливо.

Одним з найбільш надійних способів аналізу реального фізичного процесу є математичне моделювання. Добре побудована модель більш доступна для досліджень ніж реальний об'єкт. Але математична модель є завжди абстрактною ідеалізацією об'єкта, і, якщо бажають, щоб ця модель дозволяла вирішити поставлене завдання, необхідні деякі припущення, які її спрощують. Тому особлива увага повинна бути звернена на те, щоб модель служила дійсним відображенням даної задачі. В роботах [5,6] розроблені загальні закони побудови моделей механіки суцільного середовища та руху ідеального газу, що знаходиться о двох термодинамічних станах, по трубі. Ці моделі повністю формалізовані і використовують спеціальні варіаційні рівняння. Студентам добре відомі термодинамічні закони і закони збереження енергії та імпульсу, але вивчення відповідного математичного апарату не передбачено робочими програмами.

На жаль, практично всі моделі, які засновані на використанні лише аналітичних методів, містять у собі безліч спрощень і схем при досить складних і громіздких обчисленнях. Це дозволяє оцінити процеси, які характерні для техногенних масивів, лише на якісному рівні.

У загальному випадку структуру прогнозної моделі ми можемо представити у наступному вигляді: $E = \{f(x_i, y_i), i = \overline{1, n}\}$, де E - результат дії моделі; x_i змінні і параметри, якими ми можемо керувати; y_i - змінні і параметри, якими ми керувати не можемо; f - функціональна залежність між x_i і y_i , що визначає величину E ; n – кількість параметрів.

Функціональні залежності описують поведінку змінних і параметрів у межах компонента або виражають співвідношення між компонентами системи. Ці співвідношення за своєю природою є або детерміністськими, або стохастичними. Детерміністські співвідношення - це тотожності або означення, що встановлюють залежність між визначеними змінними або параметрами в тих випадках, коли процес на виході системи однозначно визначається заданою інформацією на вході. На відміну від цього стохастичні співвідношення являють собою такі залежності, які при заданій вхідній інформації дають на виході невизначений результат.

У роботах [6-9] імітаційне моделювання визначено як експериментування з моделлю реальної системи, управління якою пов'язано з прийняттям рішень в умовах невизначеності. Вперше метод імітаційного моделювання було застосовано у 70-х роках минулого століття для вирішення завдань організації виробничих процесів в кар'єрах, він мав назву "статистичного моделювання". Однак цей метод досить нерозповсюджений. Причиною цього можна вважати,

по-перше, неможливість надання на той час адекватного математичного інструментарію для моделювання складних природних та економічних систем.

По-друге, практично будь яка технологія повинна накопичити наукові результати, які будуть мати реальний практичний інтерес. На сьогодні розроблений теоретичний фундамент і дослід вирішення прикладних фізичних задач свідчать про перспективність використання імітаційного моделювання для дослідження функціонування різних систем на рівні студентів ІТ-профілю.

Імітаційні моделі не здатні формувати свій власний розв'язок в тому вигляді, у якому це має місце в аналітичних моделях, а можуть лише служити засобом для аналізу функціонування системи в умовах, які нами визначаються. Отже, імітаційне моделювання - не теорія, а потужний інструмент дослідження складних систем.

Безпосереднє експериментування на реальній системі усуває багато труднощів, якщо необхідно забезпечити відповідність між моделлю і реальними умовами; однак недоліки такого експериментування іноді досить значні, оскільки:

- воно може порушити встановлений порядок роботи об'єкта;
- може виявитися складною підтримка постійних робочих умов при кожному повторенні експерименту або протягом усього часу проведення серії експериментів;
- для одержання однієї і тієї ж величини вибірки (а, отже, і статистичної значимості результатів експериментування) можуть знадобитися надмірні витрати часу і засобів;
- при експериментуванні з реальними системами може виявитися неможливим дослідження безлічі альтернативних варіантів.

З нашої думки, цих причин достатньо, і є доцільним застосування імітаційного моделювання при наявності кожної з наступних умов:

- не існує закінченої математичної постановки даної задачі, або ще не розроблені аналітичні методи рішення сформульованої математичної моделі;
- за наявністю аналітичних методів, математичні процедури настільки складні і трудомісткі, що імітаційне моделювання надасть більш простий спосіб рішення задачі;
- аналітичні рішення існують, але їхня реалізація неможлива внаслідок недостатньої математичної підготовки наявного персоналу;
- крім оцінки впливу визначених параметрів, бажано здійснити на імітаційній моделі спостереження за ходом процесу протягом визначеного періоду;
- для довгочасно діючих систем або процесів може знадобитися стиск часової шкали. Імітаційне моделювання дає можливість цілком контролювати час досліджуваного процесу, оскільки явище може бути уповільнене або прискорено за бажанням;
- при різних вхідних умовах є можливість рішення задач високого ступеню складності з великим об'ємом обчислень.

Постановка задачі. Вищенаведені міркування і визначили метод імітаційного моделювання можливим для застосування при рішенні практичних фізичних задач.

Викладення матеріалу. Визначено коло цікавих та інтересних фізичних задач і природних явищ, які студенти можуть вирішити за допомогою імітаційного моделювання при наявності розроблених пакетів прикладних програм. Наприклад, потужні грозові розряди в атмосфері, снігові лавини, хвилі цунамі, вторгнення небесних тіл у атмосферу Землі, рух метеоритів; геомеханічні процеси, пов'язані зі стійкістю гірничих масивів (природних і техногенних); Різноманітні деформаційні процеси; плавлення та прокатка сталей та чавуну.

Для правильної організації імітаційного експерименту необхідно володіти наступною інформацією:

- пам'ятати, до якого класу відноситься система, яка моделюється (статична або динамічна, детермінована або стохастична і т.д.);
- визначити, який режим роботи системи цікавить: стаціонарний (сталий) або нестаціонарний;
- знати, протягом якого проміжку часу варто спостерігати за поведінкою (функціонуванням) системи;
- визначити, який обсяг випробувань (тобто повторних експериментів) зможе забезпечити необхідну точність оцінок (у статистичному змісті) досліджуваних характеристик системи.

Можна не особливо замислюючись над перерахованими питаннями, узяти від моделі все «по максимуму» — досліджувати роботу системи в усіх режимах, для усіх можливих поєднань зовнішніх і внутрішніх параметрів і повторювати кожен експеримент сотні разів. Однак користь від такого моделювання невелика, оскільки отримані дані буде дуже важко обробити і проаналізувати, а ще важче прийняти за їх допомогою яке-небудь конкретне рішення. Та й витрати часу на моделювання, навіть з урахуванням швидкодії сучасних комп'ютерів, виявляться надмірними.

Таким чином, планування модельних експериментів переслідує дві основні цілі: скорочення загального обсягу випробувань при дотриманні вимог підвищення інформативності кожного з експериментів окремо.

Пошук плану експерименту відбувається в так званому факторному просторі, тобто безлічі зовнішніх і внутрішніх параметрів моделі, значення яких студент може контролювати в ході підготовки і проведення модельного експерименту. У багатьох випадках фактори можуть носити не тільки кількісний, але і якісний характер. Наприклад, при оцінці користуальницького інтерфейсу такими факторами можуть бути колірна палітра, ступінь підготовленості користувачів і т.д. Тому значення факторів звичайно називають рівнями. Якщо при проведенні експерименту студент-дослідник може змінювати рівні факторів, експеримент називається активним, у протилежному випадку — пасивним.

Кожний з факторів має верхній і нижній рівні, розташовані симетрично щодо деякого нульового рівня. Точка у факторному просторі, що відповідає нульовим рівням усіх факторів, називається центром плану. Інтервалом варіювання фактора називається деяке число J , додавання якого до нульового рівня дає верхній рівень, а віднімання — нижній.

Як правило, план експерименту будується щодо одного (основного) вихідного скалярного параметра Y , що називається змінною, що спостерігається. Якщо моделювання використовується як інструмент ухвалення рішення, то в ролі змінної, що спостерігається виступає показник ефективності. При цьому передбачається, що значення змінної, що спостерігається, отримане в ході експерименту, складається з двох складових: $y = f(x) + e(x)$, де $f(x)$ — функція відгуку (невипадкова функція факторів); $e(x)$ — похибка експерименту (випадкова величина); x — точка у факторному просторі (певне сполучення рівнів факторів).

Змінна y є випадковою змінною, тому що залежить від випадкової величини $e(x)$.

Розглянемо достоїнства і недоліки імітаційного моделювання. Всі імітаційні моделі є моделями типу, так званої, «чорної шухляди». Це означає, що вони забезпечують видачу вихідного сигналу системи, якщо на її взаємодіючі підсистеми надходить вхідний сигнал. Тому для одержання необхідної інформації або результатів необхідно здійснювати «прогін» імітаційних моделей, а не «розв'язувати» їх. Імітаційні моделі не здатні формувати свій власний розв'язок в тому вигляді, у якому це має місце в аналітичних моделях, а можуть лише служити засібом для аналізу поведінки системи в умовах, які визначаються експериментатором.

Отже, імітаційне моделювання – не теорія, а методологія рішення проблем. Імітаційне моделювання є тільки одним з декількох наявних у розпорядженні системного аналітика найважливіших методів рішення проблем. Оскільки необхідно пристосовувати засіб або метод до рішення задачі, а не навпаки, то виникає природне питання: в яких випадках імітаційне моделювання є корисним? Ми визначили імітаційне моделювання як експериментування з моделлю реальної системи. Необхідність рішення задачі шляхом експериментування стає очевидною, коли виникає потреба одержати про систему специфічну інформацію, яку не можна знайти у відомих джерелах. Безпосереднє експериментування на реальній системі усуває багато труднощів, якщо необхідно забезпечити відповідність між моделлю і реальними умовами; однак недоліки такого експериментування іноді досить значні, оскільки:

воно може порушити встановлений порядок роботи об'єкта;

якщо складовою частиною системи є люди, то на результати експериментів може вплинути так званий хауторнський ефект, який виявляється в тім, що люди, почуваючи, що за ними спостерігають, можуть змінити свою поведінку;

може виявитися складним підтримка постійних робочих умов при кожному повторенні експерименту або протягом усього часу проведення серії експериментів;

для одержання однієї і тієї ж величини вибірки (а, отже, і статистичної значимості результатів експериментування) можуть знадобитися надмірні витрати часу і засобів;

при експериментуванні з реальними системами може виявитися неможливим дослідження безлічі альтернативних варіантів.

З цих причин необхідно розглядати доцільність застосування імітаційного моделювання при наявності кожної з наступних умов:

1. Не існує закінченої математичної постановки даної задачі, або ще не розроблені аналітичні методи рішення сформульованої математичної моделі. До цієї категорії відносяться багато моделей масового обслуговування, зв'язані з розглядом черг.

2. За наявністю аналітичних методів, математичні процедури настільки складні і трудомісткі, що імітаційне моделювання надасть більш простий спосіб рішення задачі.

3. Аналітичні рішення існують, але їхня реалізація неможлива внаслідок недостатньої математичної підготовки наявного персоналу. У цьому випадку варто співставити витрати на проектування, іспити і роботу на імітаційній моделі з витратами, зв'язаними з запрошенням фахівців зі сторони.

4. Крім оцінки визначених параметрів, бажано здійснити на імітаційній моделі спостереження за ходом процесу протягом визначеного періоду. Імітаційне моделювання може виявитися єдиною можливістю внаслідок труднощів постановки експериментів і спостереження явищ у реальних умовах; відповідним прикладом може служити вивчення поведінки космічних кораблів в умовах міжпланетних польотів.

Для довгочасно діючих систем або процесів може знадобитися стиск часової шкали. Імітаційне моделювання дає можливість цілком контролювати час досліджуваного процесу, оскільки явище може бути уповільнене або прискорено за бажанням. Додатковою перевагою імітаційного моделювання можна вважати найширші можливості його застосування в сфері освіти і професійної підготовки. Розробка і використання імітаційної моделі дозволяють експериментаторові бачити і "грати" на моделі реальні процеси і ситуації. Це, у свою чергу, повинне значною мірою допомогти йому зрозуміти і відчувати проблему, що стимулює процес пошуку нововведень. Коли студент досягає справжнього розуміння проблеми і починає вільно керувати своєю моделлю, він знаходить здатність бачити зміст своєї роботи з інших точок зору. Він захоче перевірити на моделі безліч альтернативних варіантів, щоб оцінити нові можливості, що йому відкрилися. По суті він використовує модель для підвищення своїх навиків у програмуванні та навчанні, що дозволяє йому на новому рівні чітко установити всі істотні наслідки внесених у систему змін. Можливо, він міг би проробити це і на реальній системі, але, внаслідок її складності, це було б дуже утомливо і сполучене з помилками. Ось чому доцільно звертатись до моделі, як до засобу оцінки своїх нових інтуїтивних припущень і висновків. Ідея імітаційного моделювання інтуїтивно приваблива для дослідження систем завдяки своїй простоті. Тому метод імітаційного моделювання прагнуть застосовувати для рішення кожної задачі, з якою доводиться зустрічатися. Незважаючи на недостатню математичну добірність, імітаційне моделювання є одним з найбільш широко розповсюджених кількісних методів, які використовують при рішенні проблем.

Розроблені пакети прикладних програм [10-13] дуже зручні в використанні, вихідна інформація легко доповнюється, змінюється, коригується. Студенти можуть самостійно або в дистанційному режимі експериментувати та моделювати різні фізичні і технічні процеси.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Доведено, що імітаційне моделювання стимулює розвиток творчого і наукового мислення студентів, підвищує інтерес до програмування і вивчення фізики. У подальшому необхідно, і для цього є можливість, впроваджувати в навчальний процес нові комп'ютерні технології.

Список літератури

1. Завсєгдашній В. О., Максимов О.В., Ткаченко Г.І. Імітаційне моделювання: Навч. посібник. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2004 – 166 с.
2. Х.Гулл, Я.Тобочник. Компьютерное моделирование в физике. Изд «Мир»
3. <http://www.lib.convdocs.org/docs/index-80297/html>
4. Чечет В. В. Генезис методов обучения и педагогических технологий / В. В. Чечет // Народная освіта. – 2004. № 8. – С. 11–16.

5. Назаров А.В., Лоскутов А.И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. – Санкт - Петербург: Наука и техника, 2003. - 384 с.
6. Имитационное моделирование экономических процессов: Учеб. пособие / А.А. Емельянов, Е.А. Власова, Р.В. Дума; Под ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 368 с.
7. Бочарников В.П., Свешников С.В. Fuzzy Technology: основы моделирования и решения экспертно – аналитических задач. – К.: Эльга, Ника-Центр, 2003. - 296 с.
8. Кондратьев А.С., Филиппов М.Э. Физические задачи и математическое моделирование реальных процессов // Учебная физика, 1999, №2, с.647.
9. Кречетников К.Г. Методология проектирования, оценка качества и применения средств информационных технологий обучения. Моногр. - М.: Изд. Госкоорцентр, 2001, 244 с. www.omsu.ru/conference/tesleses/000051.doc
10. Ткаченко Г.І., Максимов О.В. Моделювання поверхонь скочвання для оцінки стану стійкості багатоярусних зовнішніх відвалів. Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. - Кривий Ріг: КТУ. - №8.-2005.- С.7-11.
11. Комп'ютерна програма для оцінки і розрахунку стійкості укосів бортів карерів і ярусів відвалів "KUSTO": Свідчення про реєстрацію авторського права на твір. Україна, МСП 03680 /Є.Я.Бехлер Є.Я., О.В.Максимов, Є.О.Несмашний, О.В.Романенко, Г.І.Ткаченко. - № 18720; Зареєстр. 22.11.06.
12. Комп'ютерна програма «Комплекс комп'ютерних програм «РЕПЕР»: Свідчення про реєстрацію авторського права на твір. Україна, МОНУ/Є.Я.Бехлер, А.В. Болотников, Є.О.Несмашний, О.В.Максимов, Г.І.Ткаченко. – № 39943; Зареєстр. 02.09.11.
13. Бережний М.М. Розвиток теорії і методів моделювання процесів обробки металів тиском / М.М. Бережний, А.О. Шепель, О.А. Самойлюк // Вісник Криворізького національного університету: Збірник наукових праць. Кр. Ріг, 2012. – Вип. 30. – С. 131-135

Рукопис подано до редакції 05.04.2019

УДК 667.1.785

Ю.С. РУДЬ, д-р техн. наук, проф., В.Г. КУЧЕР, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,
В.Ю. БЕЛОНОЖКО, ст. преп.
Криворожский национальный университет

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ И ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ КОЛОСНИКОВЫХ РЕШЕТОК АГЛОМЕРАЦИОННЫХ И ОБЖИГОВЫХ МАШИН

Агломерационная и обжиговая машина представляет собой непрерывную цепь тележек с колосниковой решеткой. Тележки установлены на направляющие и перемещаются по ним с помощью электромеханического привода, расположенного в головной части машины. На рабочей ветви машины происходят основные технологические процессы производства агломерата и окатышей: загрузка шихты, ее зажигание, спекание, частичное охлаждение и разгрузка агломерата, а для окатышей – загрузка, обжиг по более сложной схеме, охлаждение и разгрузка. На горизонтальные полки продольных балок тележек устанавливаются колосники, которые образуют колосниковое поле тележек – решетку.

Целью данной работы является анализ конструктивных особенностей известных колосниковых решеток агломерационных и обжиговых машин и на основе выводов обеспечить повышение технического уровня колосниковых решеток, что приведет к росту производительности машин.

Методы исследований. Анализ конструктивных особенностей колосниковых решеток агломерационных и обжиговых машин проводился путем изучения известных конструкций по литературным источникам, патентов, а также наблюдений за работой тележек в промышленных условиях с последующим обобщением результатов анализа и разработкой мероприятий по улучшению конструкции тележек агломерационных и обжиговых машин.

Научная новизна. Для повышения производительности агломерационных машин предложен и теоретически обоснован новый подход к формированию «постели», представляющий собой выделение фракции 25-12 мм из окомкованной шихты, а также увеличение «живого» сечения колосниковой решетки за счет использования площади подколосниковых балок.

Практическое значение. Предложены конструкции колосников, эффективность самоочистки которых базируется на новом подходе к решению данной проблемы и состоящей в организации принудительного взаимного перемещения рядом расположенных колосников. устанавливаются головками с большей высотой в противоположных направлениях.

Результаты. Предложен способ формирования «постели» агломерационных машин из окомкованной шихты крупностью +10-12 мм, а также ряд конструкций колосников, обеспечивающих увеличение «живого» сечения решетки и стабильность ее работы за счет высокой степени ее самоочистки, что позволяет повысить эффективность работы агломерационных и обжиговых машин.

Ключевые слова: агломерационная, обжиговая машина, тележка, колосник, решетка, «живое» сечение, самоочистка решетки, производительность.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Агломерационная и обжиговая машина представляет собой непрерывную цепь тележек-паллет с колосниковой решеткой. Тележки установлены на направляющие и перемещаются по ним с помощью электромеханического привода, расположенного в головной части машины. На колосниковую решетку тележек, расположенных над вакуум-камерами, загружается железорудное сырье, которое прошло предварительную технологическую обработку - смешивание и окомкование компонентов, что обеспечивает однородность материала и его высокую газопроницаемость. На рабочей ветви машины происходят основные технологические процессы производства агломерата и окатышей: загрузка шихты, ее зажигание, спекание, частичное охлаждение и разгрузка агломерата, а для окатышей – загрузка, обжиг по более сложной схеме, охлаждение и разгрузка. Освободившиеся от агломерата или обожженных окатышей тележки возвращаются по наклонным направляющим к приводу машины, где захватываются приводными звездочками и снова поднимаются на верхнюю рабочую ветвь. Процессы загрузки, зажигания и термической обработки железорудного сырья на машине происходят непрерывно. Количество подвижных тележек агломерационной или обжиговой машины зависит от необходимой суммарной площади спекания или обжига, которая в свою очередь обеспечивает требуемую производительностью агрегата. Наибольшее распространение на агломерационных фабриках Украины нашли агломерационные машины площадью спекания 50 и 75 м², обжиговые машины площадью 108, 278, 306 и 520 м². Большинство из машин модернизировано путем увеличения проектной площади колосниковой решетки, а следовательно и производительности машин за счет увеличения количества подвижных тележек. Например, агломерационные машины с проектной площадью спекания 75 м² (АКМ-75, К-1-75, АК-3-75) комплектуются восьмидесятью подвижными тележками, на каждой из которых смонтировано по 195 колосников толщиной 40 мм.

Корпус подвижной тележки агломерационной машин с площадью спекания 75 м² представляет собой соединенную из двух половин раму с поперечными и продольными балками (рис. 1) [1].

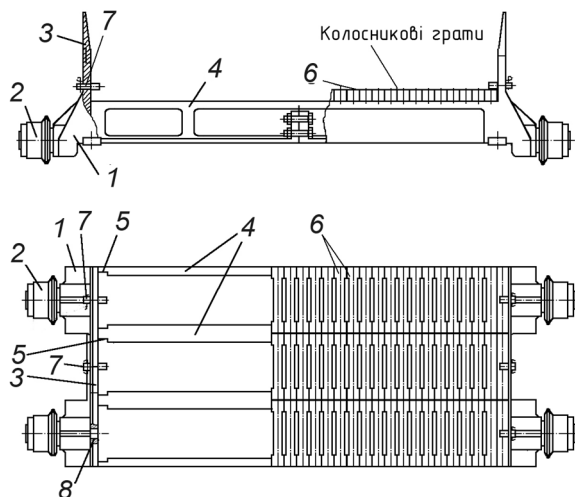


Рис. 1. Главный вид и вид сверху на тележку агломерационной конвейерной машины: 1 - разъемный литой корпус; 2 - ходовые ролики; 3- съемные борта; 4 - Т и Г-образные подколосниковые балки; 5 – проемы; 6 – колосники; 7 – пальцы; 8 – отверстия для пальцев

Поперечные балки придают тележке прочность, а продольные служат для установки на них колосников. Продольные балки изготовлены с учетом формы крепежной части колосника, при этом средние балки имеют в поперечном сечении Т-образную, а крайние - Г-образную форму. На горизонтальные полки продольных балок устанавливаются колосники. Три ряда колосников образуют колосниковое поле тележек - решетку. Колосники набирают через проемы в полках продольных балок, расположенных у бортов тележек. Крайние колосники удерживаются пальцами, установленными в боковых стенках корпуса. Щели в колосниковой решетке тележки, образованные благодаря наличию выступов на боковых поверхностях колосников, расположены по направлению движения тележек. Оптимальная ширина щелей установлена в результате многолетней практики эксплуатации подвижных тележек и равна 6 мм. Колосники должны свободно перемещаться по полкам продольных ребер тележки и иметь возможность перемещаться на небольшое расстояние в вертикальном направлении – это необходимое условие для самоочистки колосниковой решетки от частиц, защемленных в технологических зазорах. Основным параметром колосниковой решетки является площадь активного - «живого» сечения, которая может быть определена из формулы $F_K = \Sigma F_3 / F_T (\%)$ (тут F_3 – суммарная площадь тех-

шась на небольшое расстояние в вертикальном направлении – это необходимое условие для самоочистки колосниковой решетки от частиц, защемленных в технологических зазорах. Основным параметром колосниковой решетки является площадь активного - «живого» сечения, которая может быть определена из формулы $F_K = \Sigma F_3 / F_T (\%)$ (тут F_3 – суммарная площадь тех-

нологических зазоров между колосниками, м^2 ; F_T – общая площадь колосникового поля подвижной тележки, м^2). На агломерационных и обжиговых фабриках Украины находят применение колосники с шириной крепежной части равной 30, 40 и 50 мм, которые обеспечивают «живое» сечение колосникового поля соответственно 12, 10 и 8%.

Главными недостатками используемых в настоящее время подвижных тележек агломерационных и обжиговых машин с набранной колосниковой решеткой являются недостаточные значения «живого» сечения колосниковой решетки (8-12%) и постепенное его уменьшение в процессе промышленной эксплуатации из-за забивки технологических зазоров. В связи с вышеизложенным, решение вопроса увеличения «живого» сечения колосниковой решетки, а, следовательно, и производительности, является важной народнохозяйственной задачей.

Постановка задачи. Целью данной работы является анализ конструктивных особенностей известных колосниковых решеток агломерационных и обжиговых машин и на основе выводов обеспечить повышение технического уровня колосниковых решеток, что приведет к росту производительности машин.

Анализ последних исследований и публикаций. Производительность конвейерной агломерационной или обжиговой машины Q (т/час) непрерывного действия определяется из следующего выражения: $Q = 60KBHpv$ (тут K – коэффициент выхода годного агломерата или окатышей, %; B – полезная ширина подвижной тележки, м; H – высота слоя сырья на колосниковой решетке тележек, м; p – насыпная плотность влажной железорудного сырья, т/м^3 ; v – скорость движения подвижных тележек конвейерной машины, м/мин).

Исследованиями Е.Ф. Вегмана [2], а также В.И. Губанова и А.М. Цейтлина [3] установлена линейная зависимость между газопроницаемостью слоя шихты и производительностью агломерационной машины. Газопроницаемость шихты определяет вертикальную скорость спекания и количество просасываемого через слой шихты воздуха. Независимо от типа спекаемой шихты и высоты ее слоя, производительность машины Q зависит прежде всего от живого сечения колосниковой решетки, а более конкретно – от конструкции применяемых в решетке колосников.

В работе [1] отмечается, что живое сечение колосниковой решетки агломерационных машин типа К-2-50 и К-1-75, оборудованных чугунными колосниками толщиной 40 мм, составляет всего 10%, что недостаточно и должно быть увеличено до 15% за счет уменьшения толщины колосников до 20 мм. Однако промышленная эксплуатации колосников толщиной 20 мм показала, что колосниковая решетка тележек при непродолжительной эксплуатации оказывалась полностью забитой частицами шихты и обожженного сырья. По результатам промышленной эксплуатации был сделан вывод, что колосниковая решетка самоочищается тем лучше, чем больше вес колосника. Предлагалось увеличить вес колосников с 4-5 до 6-7 кг, а их толщину до 50 мм [4].

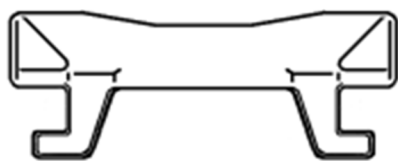


Рис. 2. Колосник по а.с. СССР 1283508

На агломерационных фабриках находят применение колосники шириной 50 мм и весом 6 кг, конструкция которых (рис. 2) предложена в работе [5]. От известных колосников они отличались тем, что поверхность колосникового замка с зевами выполняется клиновидной формы, ширина прямолинейных приливов замка не выходит за пределы зева, а рабочая поверхность колосника выполнена с прогибом. Клинovidная ферма замка устраняет возможность защемления мате-

риала в любом положении колосника, что позволяет значительно улучшить самоочистку колосниковой решетки. Однако, увеличение веса колосника до 6 кг, и его ширины до 50 мм, снижает минимальное «живое» сечение колосниковой решетки до уровня 8%. Рабочая поверхность предложенных колосников выполнена с прогибом.

Известны конструкции колосников тележек агломерационных или обжиговых машин с дугообразным выполнением рабочей части колосника [6, 7]. Преимущества колосников конструкции [6] – при загрузке шихты или окатышей на колосниковую решетку увеличивается высота слоя над крепежными замками колосников, что способствует увеличению их долговечности и производительности агрегата. Исследованиями авторов данной работы установлено, что колосники с дугообразной формой рабочей части рационально применять при производстве окатышей, где при разгрузке готовой продукции силы сцепления окатышей с колосниковой решеткой незначительны, что облегчает разгрузку окатышей. В агломерационном производстве при схо-

де пирога агломерата с решетки (представляющего собой монолит весом до 0,8-0,9 т), его нижняя часть срезается выступающими частями дугообразных колосников, способствуя их износу и разрушению агломерата. Причем в нижних частях прогнутых колосников остаются частицы агломерата, превратившегося в брак. Верхняя - рабочая часть колосников агломерационных машин должна быть плоской, как показано на рис. 2. В то же время, авторы обзорной статьи [8] плоскую поверхность колосника агломерационной машины относят к его недостаткам, считая, что острые края плоскости способствуют разрушению гранул шихты. При этом не обращается внимания на выступающие за пределы зева головки колосника плоскопараллельные кривые.

В соответствии с приведенной выше формулой «живое» сечение колосниковой решетки машины ΣF_z может быть увеличено за счет увеличения суммарной площади зазоров между колосниками, так как общая площадь колосникового поля всех тележек F_T остается неизменной для данной конструкции машины. При расчете суммарной площади зазоров между соседними колосниками ΣF_z обычно ограничиваются лишь длиной рабочей части колосников. Однако на этот параметр влияет и ширины горизонтальных полок продольных балок подвижных тележек, суммарная площадь которых достигает 25% от общей площади решетки. В работе [9] показана возможность увеличения живого сечения колосниковой решетки F_T машины за счет изменения конструкции подколосниковых балок. При использовании колосников, в которых плоскопараллельная планка шире глубины зева замка на длину этого уширения, дополнительно снижается «живое» сечение колосниковой решетки.

Следует отметить, что конструкция колосников, предложенных в работе [10] (см. рис. 2), оказалась несколько удачной, что на большинстве агломерационных фабрик Украины они используются до настоящего времени.

Анализ конструкций известных колосников, нашедших широкое применение в промышленности, позволяет сделать следующие выводы:

Задача увеличения «живого» сечения колосниковой решетки до 13-15% до настоящего времени остается нерешенной. Увеличение массы колосников с целью обеспечения самоочистки колосниковой решетки от заземленного материала является тупиковым путем, так как это приводит к снижению «живого» сечения решетки. Особенно при работе агломерационных машин, как это наблюдается на большинстве агломерационных фабрик Украины, без использования материала «постели», состоящей из агломерата фракций 25-12 мм. Фракции агломерата -25 мм используются как компонент материала железорудной шихты.

Изложение материала и результаты. Реальными путями повышения производительности агломерационных и обжиговых машин может быть совершенно новый подход к формированию «постели», представляющий собой фракции материала крупностью 25-12 мм, выделенные из окомкованной шихты, увеличение «живого» сечения колосниковой решетки за счет использования площади подколосниковых балок, повышение эффективности самоочистки колосников.

На агломерационной фабрике №2 НКГОКа сделана попытка в качестве материала «постели» использовать фракций не окомкованной шихты крупностью +12 мм. Для этой цели в качестве разделителя шихты на два класса (-12 мм и +12 мм) использовался линейный конвейер, установленный с возможностью изменения его угла наклона от 15 до 30° [11, 12]. Однако, эффективность его работы была низкая - крупные частицы материала, имеющие угловатую форму, захватывались потоком шихты класса -12 мм и лишь небольшая часть крупных частиц шихты, имеющих округлую форму, выделялась из общего потока не окомкованной шихты.

На базе данного устройства нами разработаны способы загрузки шихты на колосниковую решетку агломерационной машины, в которых предусмотрена возможность разделения окомкованной шихты соответственно на две и три фракции [13, 14]. Применение предложенного устройства в производственных условиях дает возможность использовать для материала постели крупные фракции окомкованной шихты, которые содержат меньшую концентрацию топлива, обеспечивает стабильность высоты слоя постели и слоя кондиционной шихты, позволяет повысить эффективность работы колосниковой решетки и способствует повышению производительности агломерационной машины и качества агломерата.

Как указывалось ранее, «живое» сечение решеток с применяемыми колосниками можно условно разделить на три группы в зависимости от их толщины – 30, 40 и 50 мм (при неизменной толщине плоскопараллельных приливов на головках колосников равных 3 мм, которые обеспечивают постоянную ширину технологического зазора между рабочей частью колосни-

ков, равную 6 мм). При таких характеристиках колосников обеспечивается «живое» сечение колосниковой решетки, равное 12, 10 и 8% от общей площади колосникового поля. Между «живым» сечением и количеством просасываемого через колосниковую решетку, а соответственно и через слой шихты, воздуха, и производительностью машины существует прямо пропорциональная зависимость. Однако, использование колосников небольшой толщины приводит к постепенному уменьшению «живого» сечения решетки из-за забивки межколосниковых щелей. Это заставило производителей пойти на утолщение колосников с 30 до 40 мм, считая, что степень забивки непосредственно связана с их массой. При этом наблюдается увеличение продолжительности эксплуатации колосников, некоторое уменьшение времени на очистку колосниковой решетки. Однако, увеличение толщины колосников до толщины 50 мм, а их массы с первоначальных 4-5 до 7-8 кг не дало заметных результатов по улучшению самоочистки решетки - межколосниковые зазоры продолжают забиваться в процессе работы. Таким образом, попытки уменьшить потери производства агломерата от забивки межколосниковых зазоров за счет увеличения массы колосников не оправдываются, так как уменьшение живого сечения больше чем на 30% связано с пропорциональной потерей производительности и не окупается достигнутыми результатами. Не смотря на это, многие агломерационные фабрики Украины по инерции продолжают работать на утолщенных колосниках.

Второй способ увеличения живого сечения колосниковой решетки – использовать комбинацию колосников двух типов с разной толщиной рабочей частью. Предложена тележка конвейерной машины [15], в которой используются колосники двух разных конструкций с разной толщиной рабочей части, которая находится в соотношении 1:1,11 – 1:1,67; при этом высота зева колосников с большей толщиной рабочей части больше высоты зева колосников с меньшей толщиной рабочей части. Такое решение позволяет увеличить «живое» сечение решетки до 24%, а производительность агломерационной машины - соответственно до 16,8%. Для обеспечения равной долговечности колосников разных конструкций тонкие колосники необходимо изготавливать из более прочных и более дорогих сталей.

С целью увеличения «живого» сечения колосниковой решетки нами было предложено ряд конструкций колосников, эффективность самоочистки которых базировалась на новом подходе к решению данной проблемы. Новый подход заключается в организации принудительного взаимного перемещения рядом расположенных колосников друг относительно друга. Это достигается за счет изменения геометрических параметров зевов колосников. Конструкция таких колосников позволяет увеличить «живое» сечение колосниковой решетки за счет уменьшения ширины рабочей части колосников с 50 до 40 или 30 мм, а также за счет выполнения зевов колосников с одной из его сторон разной глубины и высоты. Предложена тележка агломерационной конвейерной машины [16], в которой глубина зевов противоположных головок колосников разная и находится в соотношении 1:1,1 – 1:1,2, а рядом расположенные колосники установлены головками с большей толщиной зева в противоположных направлениях. Принцип работы колосниковых тележек, оборудованных такими колосниками, описан в работе [17]. Авторы статьи отмечают, что эффективность самоочистки колосников с различной глубиной зева выше, чем у колосников с различной высотой зева. Относительное перемещение колосников первой конструкции обеспечивается по всей площади колосников сцеплением пирога агломерата и соударением тележек в разгрузочной части машины, а также силами гравитации при подъеме к загрузочной части машины. Во втором случае – только за счет сил гравитации при переходе тележек с рабочей ветви агломерационной машины на холостую и с холостой ветви - на рабочую.

Также предложена конструкция колосниковой решетки с колосниками, у которых центр тяжести смещен относительно поперечной оси симметрии, что достигается за счет увеличения площади поперечного сечения колосников в направлении от одной головки к другой, причем смежные колосники устанавливаются головками с большей высотой в противоположных направлениях.

Выводы и направление дальнейших исследований. Предложен способ формирования «постели» агломерационных машин из окомкованной шихты крупностью +10-12 мм, что обеспечивает повышение долговечности колосниковой решетки. Проведен анализ известных конструкций колосников и установлено влияние их конструктивных особенностей на величину «живого» сечения колосниковой решетки агломерационных и обжиговых машин. Предложен

ряд конструкций колосников, обеспечивающих увеличение «живого» сечения решетки и стабильность ее работы за счет высокой степени ее самоочистки, что позволяет повысить эффективность работы агломерационных и обжиговых машин.

Список литературы

1. **Астахов А.Г.** Справочник агломератчика / А.Г. Астахов, А.И. Мачковский и др. – Київ: Техніка, 1964. – 448 с.
2. **Вегман В.Ф.** Окускование руд и концентратов / В.Ф. Вегман. – М.: Металлургия, 1976, 223 с.
3. **Губанов В.И.** Справочник рабочего агломератчика / В.И. Губанов, А.М. Цейтлин. – Челябинск: Металлургия, 1987. – 207 с.
4. Мартыненко В.А. Агломерация / В.А. Мартыненко. – М.: Металлургия, 1977. – 60 с.
5. А.с. 1283508 СССР, МКИ F 27 В 21/06. Колосник спекательной тележки конвейерной машины / **Ю.Р. Руденко, А.З. Крижевский, Л.Е. Фрадкин и А.П. Шикас**. – 3680894/22-02; заявл. 28.12.83; опубл. 15.01.87, Бюл.№2.
6. А.с. 428160 СССР, МКИ F 23h 13/00. Колосник агломерационной или обжиговой машины / **Б.М.Горбач, Ю.С.Рудь, М.Е.Васейко, В.Г.Кучер, В.А.Малый, А.А.Солодухин**. – 1809253/22-02; заявл. 13.07.72; опубл. 15.05.74, Бюл.№18.
7. Патент 44490 Україна, МПК F 27 В 21/06. Колосник рухомого візка агломераційної або обпалювальної машини / **Ю.С.Рудь, В.Г.Кучер, А.З.Крижевський**. – у 2009 02961; заявл. 30.03.2009; опубл. 12.10.2009, Бюл.№19.
8. **Захарченко В.Н.** Анализ конструкций колосников агломерационных машин / В.Н.Захарченко, Н.Р.Руденко, К.А.Мусиенко, Р.Н.Руденко // Металл и литейные Украины. – 2015. – № 6 (265). – С. 18-21.
9. **Бондаренко В.Д.** Исследование влияния активного сечения колосниковой решетки на показатели агломерационного процесса и разработка рациональной конструкции колосников / В.Д.Бондаренко // Теория и практика металлургии. – 2005. – №1-2. – С. 24-27.
10. Патент 896 Україна, МПК F27B21/06. Колосникова решітка конвеєрної машини / **Н.Р.Руденко, В.В.Пихтин, М.Р.Руденко** та ін. – Опубл. 16.07.2001, Бюл. № 6.
11. А.с. 304291 СССР, МКИ F 23h 13/00. Устройства для разделения фракционного состава агломерационной шихты / **А.А.Магов, В.Г.Кучер**. – 1809253/22-02; заявл. 13.07.72; опубл. 15.05.74, Бюл.№18.
12. **Рудь Ю.С., Кучер В.Г., Белоножко В.Ю.** Автоматизация процесса выделения и загрузки материала постели на колосниковую решетку агломерационной машины / Ю.С.Рудь, В.Г.Кучер, В.Ю. Белоножко // Вісник Криворізького Національного Університету. – 2014. – Випуск 37. – С. 83-87.
13. Патент 101055 Україна, МПК F 27 В 21/00. Спосіб завантаження шихти на колосникові грати агломераційної машини / **Ю.С.Рудь, В.Г.Кучер, Ю.О.Кривенко**. – у 2015 01694; заявл. 26.02.20015; опубл. 25.10.2015, Бюл.№16.
14. Патент 109978 Україна, МПК B65G 65/00 F 27 В 21/00. Спосіб завантаження шихти на колосникові грати агломераційної машини / **Ю.С.Рудь, В.Г.Кучер**. – у 2016 00997; заявл. 08.02.20016; опубл. 26.09.2016, Бюл.№18.
15. Патент 72788 Україна, МПК F 27 В 21/08. Візок агломераційної конвеєрної машини / **Ю.С.Рудь, В.Г.Кучер**. – у 2012 02456; заявл. 01.03.20012; опубл. 27.08.2012, Бюл.№16.
16. Патент 85056 Україна, МПК F 27 В 21/08. Візок агломераційної конвеєрної машини / **Ю.С.Рудь, В.Г.Кучер**. – у 2013 05409; заявл. 26.04.20013; опубл. 11.11.2013, Бюл.№21.
17. **Рудь Ю.С., Кучер В.Г., Белоножко В.Ю.** Повышение эффективности самоочистки колосниковой решетки спекательных тележек агломашин / Ю.С.Рудь, В.Г.Кучер, В.Ю. Белоножко // Вісник Криворізького Національного Університету. – 2014. – Випуск 37. – С.36-41.
18. Патент 68797 Україна, МПК F 27 В 21/08. Візок агломераційної конвеєрної машини / **Ю.С.Рудь, В.Г.Кучер**. – у 2011 11542; заявл. 29.09.20011; опубл. 10.04.2012, Бюл.№7.

Рукопись поступила в редакцию 02.04.2019

УДК 65.0.12.122

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

ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ПРОЦЕС УПРАВЛІННЯ МІСЬКИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ В УКРАЇНІ

Мета. Метою роботи є комплексне дослідження сталого стану автомобільного транспорту загального користування та рішення ряду наукових і практичних питань управління перевізною діяльністю автобусних парків з використанням сучасних інформаційних технологій в Україні.

Поставлена мета в роботі вирішується такими завданнями:

аналіз сучасного стану автотранспортного комплексу з виявленням негативних сторін його діяльності та проблемних питань в підвищенні ефективності та якості перевезень пасажирів автобусами;
дослідженням ринку інформаційних технологій, умов їх застосування на пасажирському транспорті;

розробкою методики оцінки економічної ефективності роботи автобусних парків з використанням сучасних інформаційних технологій;

узагальненням наявного досвіду і розробкою практичних рекомендацій щодо застосування супутникового моніторингу на міському автомобільному транспорті.

Методи дослідження. У роботі виконано аналітичні дослідження з використанням статистичних показників стосовно подальших перспектив підвищення показників роботи автобусних парків. Використано комплексний підхід, що включає узагальнення і аналіз літературних джерел і досліджень в галузі автомобільного пасажирського транспорту.

Наукова новизна дослідження полягає в аналітичному оцінюванні темпів зростання обсягів міських автоперевезень та узагальненні сучасного досвіду і розробці науково-методичних рекомендацій щодо оцінки ефективності роботи автобусних парків з використанням сучасних інформаційних технологій

Практична значимість дослідження визначається прикладним характером наукових положень і висновків, що дозволяють на об'єктивній кількісній основі оцінювати економічні результати впровадження в господарську практику автобусних парків сучасних інформаційних технологій, і на цій основі підвищити ефективність роботи підприємств пасажирського транспорту і якість транспортного обслуговування пасажирів.

Результати. Впровадження інформаційних технологічних систем у міські пасажирські перевезення дозволить вирішувати цілу низку питань, які на сьогодні є вузьким місцем в організації роботи автотранспорту, таких як:

контроль за виконанням договірних умов перевізниками щодо числа автобусів, що випускаються щоденно на маршрути;

підвищення безпеки та якості перевезень;

прозорість економічної ефективності окремих автобусів, маршрутів і відповідно оподаткування перевізників;

облік пасажиропотоків, у тому числі пільгових категорій пасажирів, та ряд інших питань.

Ключові слова: пасажирські перевезення, управління перевізним процесом, диспетчеризація автотранспорту.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-99-105

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями За роки незалежності в Україні змінилося середовище функціонування транспортних систем міст і зон їх впливу: відбулися принципові структурні зміни в економіці країни; вельми швидкими темпами йде автомобілізація народного господарства; крім муніципальних підприємств, які традиційно займаються перевезеннями пасажирів, виникло багато підприємств - перевізників інших форм власності, що створило на вулично-дорожній мережі міст конкурентне середовище в сфері перевезення пасажирів. Зазначені зміни ставлять нові завдання в сфері управління міського громадського пасажирського транспорту: розподіл необхідного обсягу транспортної роботи між перевізниками (формування муніципального замовлення) і контроль його виконання, як в оперативному режимі, так і отриманням звітних даних за певний період; вироблення нових показників оцінки якості роботи перевізників, тому що старі (наприклад, регулярність руху) сьогодні вже не відображають якість виконання муніципального замовлення, а, отже, і ступінь задоволеності пасажирів; вироблення системи порівняння якості роботи перевізників, тому перед адміністраціями міст стоїть завдання вибору перевізника для виконання конкретної транспортної роботи. Ці та інші завдання можна вирішувати тільки на основі застосування інформаційних технологій в управлінні міським громадським пасажирським транспортом як системою в цілому і кожного перевізника (або їх об'єднань) окремо.

Аналіз досліджень і публікацій. Великий внесок у теорію управління транспортом внесли вчені: Арсенов В.І., Белов І.В., Богданова Т.В., Галабурда В.Г., Громов М.М., Дунаєв О.Н., Зайцев А.А., Козлов П.А., Конарев Н.С., Курбатова А.В., Куренков П.В., Лівшиць В.М., Макарова Е.А., Монастирський Ю.А., Метелкин П.В., Миротин Л.Б., Мірошніченко О.Ф., Милославська С.В., Мішарін А.С., Мухаметдінов І.Б., Персіанов В.А., Поддавашкін Е.С., Спірін І. В., Степанов А.А., Трапезников В.А., Третяк В.П., Улицький М.П., Усков Н.С., Федоров Л.С., Чуднівський А.Д. та ін.

У розробку і розвиток інформаційних технологій на автомобільному транспорті істотний внесок внесли Алексахін С.В., Власов В.М., Горев А.Е., Дішхунян В.Л., Козирев А.А., Кузнецов І.А., Миколаїв А.Б., Строгонов В.Ю., Тіверовський В.І., Титоренко Г.А. та інші вчені і фахівці-практики. Але вирішенню проблеми якості і безпеки міських і приміських пасажирських перевезень в останні роки не приділялося належної уваги. Сучасні вчені в області організації пасажирських перевезень на автомобільному транспорті: А.В. Вельможін, В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, С.А. Ширяєв, О.Н. Ларін, Е.А. Сафронов, І.В. Спірін, А.Н. Рахмангулов, С.А. Ваксман, І.М. Пугачов, Е.А. Рейцен, Д.В. Капський, Якимів М.Р. та ін. приділяють увагу переважно зага-

льним проблемам громадського транспорту, а проблеми впровадження інформаційних технологій в управління міським автотранспортом в Україні залишаються без належної уваги.

Відсутність зворотного зв'язку між організатором транспортного процесу (органами виконавчої влади) і виконавцем процесу перевезення веде до нерівномірного розвитку маршрутної мережі, що в свою чергу значно знижує якість транспортного обслуговування населення.

Постановка завдання. Невирішеність багатьох проблем пасажирського автомобільного транспорту країни веде до скорочення кількості перевезених пасажирів. Скорочення обсягів пасажирських перевезень призводить, в свою чергу, до зниження економічної ефективності пасажирських перевезень і, як наслідок, може викликати підвищення тарифів, або скорочення кількості маршрутів. Основним шляхом для забезпечення якості перевезень на сьогодні є моніторинг встановлених кількісних показників щодо пасажирських перевезень. З боку держави питання безпеки перевезень пасажирів регулюються наказом Державного комітету України з питань регуляторної політики та підприємництва і Міністерством транспорту України від 18.12.2003 р. № 136/985. Проте питання якості перевезень ніде не оговорено, тому, як на стадії боротьби претендентів за ринок транспортних послуг, так і при роботі перевізника на певному ринку, моніторинг якості практично не ведеться, перш за все по причині відсутності встановлених законодавчих показників. Відповідно відсутній моніторинг якості перевезень на стадії роботи перевізника на ринку транспортних послуг і нереалізований зворотний зв'язок для наступних конкурсів перевізників на маршрути. Є певний класифікатор соціальних стандартів і нормативів, які перевізник, отримавши певний ринок перевезень, повинен виконувати. До числа таких нормативів відносять число стоячих пасажирів на 1м² площі автобуса, час у дорозі, комфортність поїздки, частоту та безпеку руху, вартість послуг, час чекання транспорту, інформованість пасажирів на зупинках щодо реального графіку руху транспортного засобу, відхиленнях тощо. На цивілізованому ринку перевезень боротьба перевізників за маршрути та пасажирів йде у розрізі покращення наведених і інших показників. Усі напрямки зводяться до загальної оцінки задоволеності пасажирів у трьох станах – до поїздки, під час неї та після поїздки. Контроль за дотриманням цих показників забезпечує громадськість та муніципальні органи, пасажир "голосує" своєю оплатою за послуги. Проте зрозуміло, що підвищення рівня контролю за перевезеннями з будь-якого боку - від власника ТЗ до державних органів, при традиційних методах контролю призведе до збільшення контролюючого апарату. Щоб уникнути цього, варто впровадити цифрові технології в документообігу, системах зв'язку, ідентифікації, позиціонуванні транспортних засобів. На базі сучасних комп'ютерних технологій високого рівню досягли інтелектуальні транспортні системи (ІТС), які блискуче вирішують численні задачі автоматизованого планування та диспетчеризації перевезень. ІТС знаходять все ширше впровадження в Європі, у першу чергу в містах ЄС, де склалась складна ситуація в управлінні міських пасажирських і вантажних перевезень у силу особливостей транспортних мереж, інфраструктури міста тощо.

Викладення матеріалу та результати. На основі впровадження інформаційних технологій, які дозволяють вирішувати чисельні задачі управління перевізним процесом, з'являються умови для створення автоматизованої системи управління міськими транспортними потоками – пасажирськими, вантажними, спеціальними та управління дорожнім рухом в цілому. Тому пропонується наступний проект використання інформаційних технологій в управлінні міськими перевезеннями з таких послідовних етапів впровадження:

- системи контролю за виходом ТЗ на маршрути;
- системи контролю руху ТЗ на маршрутах;
- безготівкової оплати за проїзд в ТЗ;
- системи контролю переміщення пасажирських та комунальних ТЗ;
- системи управління транспортними потоками.

Проект розроблено з урахуванням послідовного підвищення рівня технічно-програмного забезпечення та накопичення досвіду використання комп'ютерних технологій усіма учасниками перевізного процесу. Впровадження запропонованого плану відбуватиметься поетапно відповідно до розмірів вкладених коштів, наслідків впровадження попередніх етапів та подальшого розвитку інформаційних технологій на транспорті і може складати від 5 до 15 років.

1 етап - впровадження системи контролю за виходом транспортних засобів (ТЗ) на маршрути. Задача етапу:

електронний облік та формування бази даних (БД) на пунктах щоденного огляду ТЗ, які пройшли огляд перед виходом на маршрути;

передача по комп'ютерних мережах в автоматичному режимі інформації БД на комп'ютери перевізників та в транспортний відділ міськвиконкому;

формування щоденного звіту щодо виконання планів виходу ТЗ на маршрути за кожним перевізником та по міській системі пасажирських перевезень у цілому;

формування місячних, річних звітів виконання планових перевезень;

формування аналітичних звітів щодо виконання договірних зобов'язань перевізниками за заданий період.

Програмне забезпечення повинне виконувати формування щоденних звітів щодо виходу на лінію ТЗ за кожним перевізником, відмічати невиконання планів виходу, забезпечувати проведення аналізу виконання планів виходу ТЗ на маршрути у розрізі окремих перевізників, маршрутів. Термін упровадження етапу складатиме 0,5 – 1 рік. Як наслідок, упровадження автоматизованої системи контролю виходу ТЗ на маршрути дозволить підняти до певного рівня відповідальність перевізників за дотриманням графіків руху, а органам управління надасть інформацію щодо рівня виконання договірних умов при використанні цієї інформації на наступних конкурсах.

2 етап - упровадження системи контролю руху ТЗ на маршрутах. Задача етапу:

контроль проходження контрольних точок маршруту кожним пасажирським ТЗ;

інформування проходження точок маршруту кожним пасажирськими ТЗ диспетчерських пунктів перевізників;

ведення бази даних маршрутів у диспетчерських пунктах перевізників та в транспортному відділі міськвиконкому;

формування звітів щодо виконання планів пасажирських перевезень за кожним маршрутом, перевізником та міській системі в цілому;

формування аналітичних звітів щодо виконання планів перевізниками за заданий період.

При виконанні другого етапу необхідно розробити радіомітки (транспондери) для транспортних засобів, які у радіусі декількох метрів будуть передавати свій індивідуальний код, розробити пристрої радіоідентифікації ТЗ (РІТЗ), що будуть сприймати сигнал транспондерів, та встановити їх на характерних точках маршрутів, забезпечити на базі сотового зв'язку передачу інформації з РІТЗ на комп'ютери в диспетчерські пункти перевізників та у транспортний відділ міськвиконкому (рис.1). Для обслуговування бази даних обліку руху кожного ТЗ на маршруті, виконання графіку руху, формування повідомлень при відхиленнях ТЗ від графіків, формування звітів аналізу руху ТЗ із заданою періодичністю необхідно розробити відповідне програмне забезпечення. Цей етап може бути впроваджений протягом 1,5 – 2 років.



Рис. 1. Система контролю ТЗ на маршрутах

Упровадження інформаційних технологій другого етапу дозволить вирішити питання контролю виконання графіків руху автобусів на маршрутах, використовувати регулюючі дії при порушенні графіків як у режимі реального часу, так і при наступних оперативних та поточних плануваннях перевезень.

3 етап - впровадження безготівкової оплати за проїзд в ТЗ.

Задача етапу:

упровадження електронних карток для оплати проїзду;

облік виручки за кожним ТЗ на маршруті;

впровадження покілометрової оплати за проїзд;

облік проїзду пільгових категорій пасажирів;

ведення бази даних економічних показників маршрутів у перевізників та в транспортному відділі міськвиконкому;

збір та аналіз даних про пасажиропотоки;

аналіз технічних та економічних показників перевезень за маршрутами.

Таким чином, впровадження цього етапу сприятиме вирішенню як організаційних задач, так і економічних. Зацікавленість на цьому етапі є і у пасажирів, і у органів управління. У кінце-

вому вигляді матиме свій інтерес і перевізник. При впровадженні цього етапу необхідно вирішити ряд технічних і організаційних задач, таких, як розробка пристроїв (касових апаратів) контактного або безконтактного контролю входу/виходу пасажирів на маршрут; розробка та впровадження платіжних карток електронного зчитування; впровадження системи поповнення рахунків та продажу карток; розробка програмного забезпечення для визначення оплати за проїзд, обліку пасажирів, виручки, інтерфейсу зв'язку; розробка інтерфейсу касового апарату ТЗ із ПК перевізників; розробка програмного забезпечення обліку оплати по ТЗ, маршрутах, перевізниках; розробка програмного забезпечення аналізу економічних показників по маршрутах; розробка програмного забезпечення аналізу пасажиропотоків. Такий значний обсяг робіт вимагатиме значного часу у 2-4 роки і може відбуватись поступово. Наступним, 4 етапом, може бути впровадження системи контролю переміщення ТЗ на базі GPS- технологій. З урахуванням стрімкого здешевлення засобів та послуг GPS стає реальним упровадження засобів позиціонування на кожному ТЗ. Можливо, що і на другому етапі доцільно не розробляти і впроваджувати засоби контролю руху на характерних точках маршруту на базі транспондерів і РІТЗ, а зразу починати з впровадження GPS-технологій. На сьогодні це ще дещо дорожче, але, з огляду на перспективу і помаршрутну поступовість встановлення модулів GPS, рішення щодо другого та четвертого етапів потрібно переводити у економічну площину. На цьому етапі, завдяки наявності інформації щодо місцезнаходження кожного конкретного ТЗ, з'являється можливість реалізувати наступні задачі:

встановлення постійного контролю за станом кожного пасажирського ТЗ (швидкість, кількість палива тощо), якщо оснастити його відповідними датчиками з цифровим виходом, які встановлено на багатьох сучасних автомобілях;

інформування пасажирів на зупинках про реальний розклад руху пасажирських ТЗ;

відображення на електронних картах у диспетчерів положення кожного ТЗ та відхилення від графіку руху;

контроль диспетчерських дій перевізників при відхиленнях від графіку руху автобусів.

Для впровадження етапу, крім встановлення пристроїв GPS на ТЗ, необхідно впровадження на базі сотового зв'язку модулів передачі /прийому, розробка програмного забезпечення для візуалізації руху ТЗ, формування звітів щодо руху ТЗ (рис. 2).

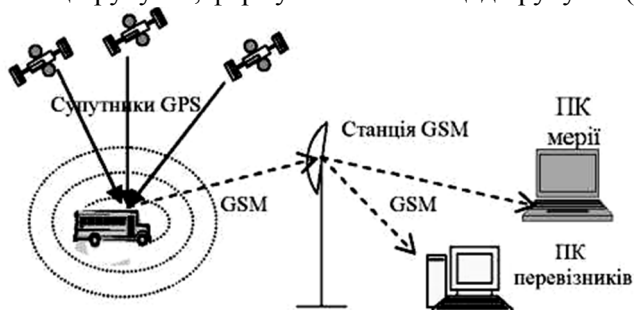


Рис. 2. Системи постійного контролю ТЗ на маршрутах

Залежно від фінансування (а це найбільш дорогий етап) термін впровадження може зайняти до 5 років. Досвід, отриманий при впровадженні системи GPS для контролю пасажирського транспорту, дозволить перейти до реалізації наступного етапу – створення системи управління транспортними потоками у рамках усього міста. Задачами цього етапу є встановлення постійного контролю за місцезнаходженням та станом спеціальних і комунальних ТЗ на базі GPS, адаптивне керування дорожнім рухом з урахуванням стану на дорогах та на регульованих перехрестях. Така система буде базуватись на комп'ютеризованій системі контролю і зв'язку перевізників, організаторів дорожнього руху та міськвиконкому, системі контролю руху пасажирських ТЗ. До складу системи додадуться підсистеми міського вантажного, комунального та спеціального транспорту. В системі міських вантажних перевезень активно впроваджуються програмні засоби планування маршрутів розвезень, для яких вхідною інформацією є, серед інших факторів, стан завантаженості міських магістралей. Тому ієрархічний зв'язок між підсистемами необхідний для організації корегування програмних рішень з урахуванням загальної густини транспортних міських потоків. Таким чином, система управління міським транспортом матиме розподілену структуру і складатиметься із багатьох підсистем, що забезпечують керування окремими складовими міського дорожнього руху

Локальна міська мережа (АСУ – М) буде використовувати декілька інтегруючих серверів, що збирають планову та оперативну інформацію для міської служби. В основу регулюючих дій АСУ – М покладається координація планів АСУ транспортних підприємств і спеціальних місь-

ких служб, відповідно загальні алгоритми керування реалізуються у вигляді двох окремих підсистем: алгоритми планування і автоматичної диспетчеризації перевізників та окремих алгоритмів узгодження. При цьому рішення міського рівня у перевізних моделях управління використовуються як обмеження цільових функцій для нижніх рівнів. На рівні адміністрування населеного пункту вирішуються питання організації централізованого управління міським пасажирським перевезенням та транспортними процесами забезпечення життєдіяльності міста, координації транспортної діяльності різних служб міста. На основі моніторингу міських транспортних процесів розробляються напрямки їх розвитку. Другий рівень складають підсистеми управління загальноміським дорожнім рухом та управління транспортом комунальних підприємств. На рівні управління комунальним транспортом забезпечується контроль за його переміщенням та корегування поточних завдань відповідно до аварійних повідомлень, що надходять у міськвиконком або відповідні служби.

Перспективним напрямком в управлінні дорожнім рухом є поступовий перехід до централізованого управління міськими транспортними потоками на основі локальної навігаційної інформації та стану міських магістралей за такими напрямками:

- адаптивне керування світлофорами;
- корегування завантаженості транспортних магістралей;
- управління дорожнім рухом для забезпечення проїзду комунальним та спеціальним транспортом;
- управління розподілу руху по транспортних підприємствах, що виконують пасажирські перевезення;
- корегування дорожнього руху при проходженні спеціальних транспортних засобів та вантажів.

Нижній рівень управління охоплює вантажні, пасажирські та спеціальні транспортні організації міської життєдіяльності, що впливають на характер транспортних потоків і вимагають спеціальних регулюючих дій при виконанні ними своїх функцій. На цьому рівні вирішуються задачі забезпечення попиту населення на перевезення з ефективним та безпечним використанням транспортних засобів. Технічно задача вирішується диспетчерськими службами транспортних підприємств, що контролюють виконання планів перевезення та виконують регулюючі дії при відхиленнях від планових завдань за такими напрямками, як технологічне забезпечення пасажирських перевезень, формування оперативних змінно – добових завдань; автоматичний контроль руху ТЗ та видача повідомлень при відхиленнях; реалізація управлінських регулюючих дій; публікація розкладу роботи маршрутних ТЗ в ЗМІ та інтернет-мережі. При реалізації планів та регулюючих дій на цьому рівні повинна оброблятися оперативна інформація верхнього рівня щодо руху спеціальних ТЗ, зміни дорожнього руху відповідно до потреб спецтранспорту, ремонту доріг.

Висновки та напрямки подальших досліджень. 1. З огляду на проведений огляд стану забезпечення якості пасажирських перевезень витікає, що дійове забезпечення можливе лише з використанням сучасних інформаційних технологій. 2. Існуючі засоби моніторингу транспортних систем на базі сучасних комп'ютерних технологій дозволяють вирішувати численні задачі автоматизованого планування та диспетчеризації на транспорті. 3. Запропонований план послідовного впровадження у системі міських перевезень сучасних інформаційних технологій може стати основою для створення загальноміської системи управління транспортними потоками.

Список літератури

1. Власов В.М. Информационные технологии на автомобильном транспорте / В.М. Власов, Д.Б. Ефименко, В.Н. Богумил. – М.: ООО Издательский центр «Академия», 2014. – 256 с.
2. Первухин Д.А. Информационные сети и телекоммуникации / Д.А. Первухин, О.В. Афанасьева, Ю.В. Ильющин. – СПб.: Изд-во «Сатисъ», 2015. – 267 с.
3. Скворцов А.В. Геоинформатика в дорожной отрасли (на примере IndorGIS) / А.В. Скворцов, П.И. Поспелов, С.П. Крысин. – М.: Издво МАДИ, 2005. – 348 с.
4. Барсегян А.А. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко, И.И. Холод. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 384 с.
5. Трофименко Ю.В. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: монография / Ю. В. Трофименков, М. Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 447 с.

6. **Ваксман С.А.** Информационные технологии в управлении городским общественным пассажирским транспортом (задачи, опыт, проблемы) / под ред. С.А. Ваксман. – Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2012. – 250
7. **Богумил В.Н.** Оценка основных параметров транспортных потоков на улич-но-дорожной сети города на основе обработки навигационных данных городского пассажирского транспорта: Дисс. . к.т.н. М., 2011. - 182 с.
8. **Ewing R.** Pedestrian and transit friendly design. Joint Center for Environment and Urban Problems. Florida Atlantic University / Florida International University. March, 1996. 103 p.
9. Bjorn Sabel Exchange and Smart// Traffic Technology International Annual Review, 2009, pp. 60-62.
10. **BIAS** Bus Information and Signalling Електронний ресурс - режим доступу - <http://www.glasgow.gov.uk/en/Residents/GettingAround/Pub-licTransport/BusinformationandSignalling/>
11. **Бойко Г.В.** Методика оптимизации структуры транспорта для обслуживания городских пассажирских перевозок, дис. . канд. техн. наук, 2006 г. 157 с.
12. **Ваксман С.А.** Информационные технологии в управлении городским общественным пассажирским транспортом (задачи, опыт, проблемы) / **С.А. Ваксман, Н.И. Герасимов, И.А. Слепухина**; под ред. С.А. Ваксмана Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2012.-260 с.
13. **Вельможин А.В.** Теория организации и управления автомобильными перевозками: логистический аспект формирования перевозочных процессов: Монография/ **А.В. Вельможин, В.А. Гудков, Л.Б. Миротин**. - Волгоград, РПК Политехник, 2001.
14. **Власов В.М.** Информационные технологии на автомобильном транспорте / **Власов В.М., Николаев А.Б., Постоит А.В., Приходько В.М. М.**, Наука. -2006. - 288 с.
15. **Володченко С.В.** Моделирование распределения пассажирских потоков в крупных городах: автореф. дис. . канд. техн. наук. -СПб.: 2005.
16. **Герани В.Д.** Методология формирования системы городского пассажирского общественного транспорта: Дисс. . д.т.н. М., 2001 - 416 с.
17. **Горев А. Э.** Организация автомобильных перевозок и безопасность движения/**А.Э. Горев, Е.М. Олещенко**// М. Транспорт. 2006. 266 с.
18. **Гудков В.А.** Математическое моделирование муниципальных автотранспортных пассажирских перевозок/**В.А. Гудков, М.С. Турнищева, Е.Р. Нургалеев** // Журнал "Автотранспортное предприятие" № 4 2010,- С. 35-38.
19. **Гуревич Г.А.** Использование диаграмм Ганта в автоматизированных системах текущего планирования и диспетчерского управления ГПТ / **Г.А. Гуревич, Е.В. Финько** // Журнал "Автотранспортное предприятие" № 1 2012.- С. 24-27.
20. Ticket products. Matkahuolto. Електронний ресурс. Режим доступу: http://www.matkahuolto.fi/en/travel/services/ticket_products/.
21. Bus & Coach Smart Move Електронний ресурс. Режим доступу: <http://vwww.busandcoach.travel/en/bus and coach the smart move.htm>

Рукопис подано до редакції 03.04.2019

УДК 004.896

Д.І. КУЗНЕЦОВ, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ КІЛЬКОСТІ ВИРОБЛЕНОЇ ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ

Мета. Метою роботи є розробка інформаційної системи для прогнозування кількості виробленої енергії та ефективності роботи сонячних електростанцій. У зв'язку із збільшенням кількості встановлюваних сонячних електростанцій щороку, стає потреба більш детально досліджувати питання прогнозування виробленої електроенергії сонячними станціями. Зокрема із-за низького ККД роботи сонячних фотоелементів, нестабільності отриманні електричної енергії пов'язаної із метеорологічними умовами, запропоновані підходи у статті дозволять отримувати більш чітку картину ефективності роботи сонячної електростанції. На даний момент існуючі методи, підходи та інформаційні системи враховують тільки індивідуальні конструктивні особливості сонячних панелей та вимагають наявності спеціалізованих коштовних датчиків для аналізу сонячної інсоляції. У свою чергу це не дає можливості отримувати більш точнішого прогнозу ефективності роботи сонячних панелей, наприклад, із врахуванням попередніх років роботи, і прогнозування на більш великі терміни часу.

Методи дослідження. У даній статті автором запропоновано метод прогнозування кількості виробленої енергії сонячною електростанцією на основі аналізу температури оточуючого повітря, сонячної інсоляції та значень роботи сонячної станції попередніх років із використання математичного апарату нейронно-нечітких мереж.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Запропоновані методи є актуальними адже дозволяють виконувати прогнозування вироблення кількості сонячної енергії на основі штучних нейронних мереж типу ANFIS.

Практична значимість. Завдяки виконанню автоматизації на снові запропонованого підходу кожна частина інформаційної системи працює злагоджено з іншими, у оптимальному режимі, що дозволяє економити час та гроші. Окрім виконання функції прогнозування кількості виробленої енергії сонячною станцією, перспективним шляхом

досліджень є дослідження процесів прогнозування виробленої енергії гібридними альтернативними джерелами енергії. Наприклад, прогнозування генерації сонячними та вітростанціями, як окремо так і у комплексі.

Результати. Використання запропонованого підходу також, додатково, дозволить отримувати інформаційну систему інтегрувати як частину системи Energy Management, загальної державної мережі Smart Grid. Це дозволяє зменшити витрати коштів на використання спеціалізованого обладнання, а також підвищити якість управління інформаційною системою Smart Grid.

Ключові слова: інформаційна система, сонячна панель, сонячна інсоляція, прогнозування, сонячна електростанція, Smart Grid.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-105-111

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. У сучасній енергетиці будь-якої європейської країни використовуються новітні технології, впроваджуються інформаційні і діагностичні системи, сучасні системи вимірювань та управління. На сьогоднішній день, кожен споживач електроенергії може обирати між централізованими та автономними джерелами енергії, або їх комплексу. Слід відмітити те, що Україна не є винятком, і в ній активно впроваджується розподілена генерація на основі енергії сонця, вітру, води та ін. У 2018 році загальна потужність встановлених сонячних електростанцій, у приватних домогосподарствах в яких реалізовано «зелений» тариф, становила 121 МВт [1]. Як видно із рис. 1 кількість встановлюваних сонячних електростанцій (СЕС) із року в рік тільки збільшується.

Слід зазначити, що за рівнем впливу неконтрольованих факторів навколишнього середовища та первинними енергоносіями, розподілені джерела енергії розподіляються на наступні [2]:

не відновлювальні джерела з керованим генеруванням – використовують традиційні джерела енергії, які мають абсолютно керований процес генерування;

відновлювальні джерела з керованим генеруванням – використовують відновлювальні ресурси та мають стабільне генерування протягом встановленого проміжку (біогазові установки, малі гідроелектростанції тощо);

відновлювальні джерела з слабо-керованим генеруванням – використовують відновлювальні ресурси, але генерування відрізняється залежно від часу доби та погодних умов (СЕС та вітрові електростанції).

У силу своїх переваг, відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) мають ряд недоліків. Зокрема, нестабільне генерування ВДЕ електроенергії через залежність від погодних умов, сприяє необхідності вдосконалення релейних систем захисту та автоматики з метою узгодження електропостачання від ВДЕ та живильних підстанцій електроенергетичної системи [3]. У свою чергу, вплив ВДЕ на енергетичні мережі залежить від сумарного розосередженого генерування в ній та типу відновлювальних джерел енергії.

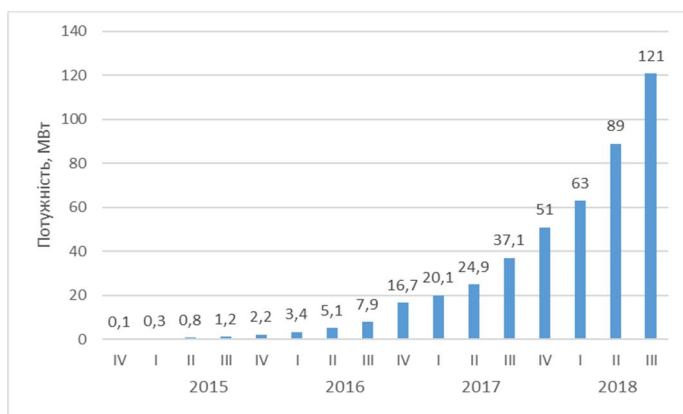


Рис. 1. Встановлена потужність сонячних електростанцій в Україні за 2014-2018 рр. у МВт

Зіставлення графіків генерування сонячними та вітроелектростанціями дає зрозуміти, що вони мають досить низьку «стабільність» роботи і не дозволяють забезпечити добрий баланс потужності у електричній мережі.

Баланс потужності сонячних та вітроелектростанцій можна віднести до умовно регульованих джерел, тобто джерел з теоретичною можливістю зміни генерування в межах природних можливостей.

Але, в разі використання такого підходу, економічна ефективність використання ВДЕ різко знижується. Слід зазначити, що важливим напрямом впливу на втрати електроенергії у РЕМ є відновлювальні джерела енергії. Зокрема, на значення втрат впливають схеми приєднання ВДЕ, обсяг та графік споживання суміжних навантажень.

Головною особливістю сучасних досліджень у даному напрямі є вдосконалення існуючих та розробка нових схем приєднання та алгоритмів роботи ВДЕ до РЕМ, які суттєво відрізняються впливом на потоки потужності, і відповідно, на втрати потужності і електроенергії в ме-

режі. Досить важливою задачею є прогнозування кількості виробленої енергії сонячними електростанціями на основі використання сучасних інформаційних технологій. Це у свою чергу дозволяє виконувати прогноз обсягу виробленої енергії як за окремим ВДЕ домогосподарств так і за цілими їх об'єднаннями (районами). Отримана інформація в межах реалізації концепції розумних мереж (Smart Grid) дозволить впливати на ланки розподілу ліній електричних передач (ЛЕП), зокрема стратегій керування, експлуатації та планування структури та режимів їх роботи.

Головним недоліком існуючих методів, розробок та технологічних рішень, щодо аналізу роботи СЕС, є те що вони враховують тільки індивідуальні конструктивні особливості сонячних панелей та вимагають наявності спеціалізованих кошовних датчиків для аналізу сонячної інсоляції. У свою чергу це не дає можливості отримувати більш точнішого прогнозу ефективності роботи сонячних панелей, наприклад, із врахуванням попередніх років роботи, і прогнозування на більш великі терміни часу.

Аналіз досліджень і публікацій. На сьогоднішній день технології прогнозування генерації електроенергії СЕС є необхідною складовою для систем типу SmartGrid. Точне прогнозування дозволяє збільшити долю генерації в загальну енергосистему на основі більшої визначеності об'ємів енергії від ВДЕ.

Для постачальників та виробників електроенергії досить важливими є прогнози спожитої та виробленої енергетичної потужності на період від декількох хвилин до 1 години (оперативні) та від декількох годин до декількох днів (короткострокові). Існуючі методи та способи прогнозування в залежності від розрахункових модулів діляться на фізичні та статичні (рис. 2) [2-5].

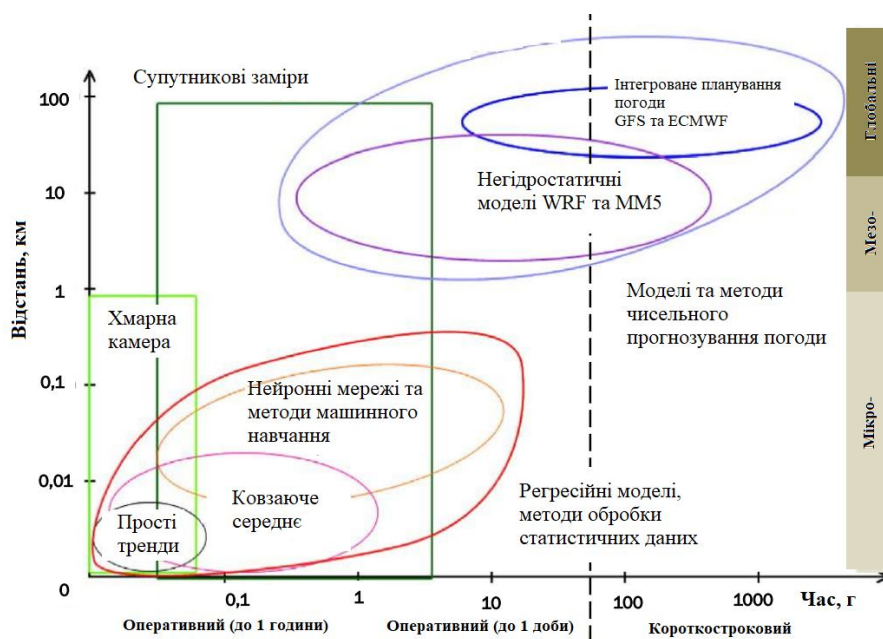


Рис. 2. Сезонна зміна добового графіку роботи СЕС

Слід зазначити, що для глобальних прогнозів існують три атмосферні моделі: GFS, GEM та ECMWF. GFS модель призначена для прогнозування на горизонтах до 16 днів, розроблена урядовою організацією National Weather Service, що входить до складу NOAA (США). Модель GEM розроблялася канадською організацією Canadian Meteorological Centre, виконує прогнози до 10 днів. Остання, ECMWF модель має назву, що збігається з назвою європейської міжурядової організації, до складу якої входять 20 країн Європи [2, 3]. Регіональні NWP прогнози мезомасштаба в даний час найчастіше виконуються за допомогою пакетів з відкритим кодом WRF, або комерційних пакетів MASS, ARPS. WRF - це результат багаторічного проекту, який підтримується дослідними інститутами і агентствами. Для цілей відновлюваної генерації найбільш підходять пакети ARW і NMM які входять до складу WRF.

Фізичне прогнозування може комбінуватися зі статистичними. Найчастіше, це обробка вихідних NWP даних яка використовує метод MOS. Даний метод дозволяє зменшити помилки фізичної моделі прогнозу, однак MOS не завжди застосовується, оскільки він вимагає оператив-

вної підтримки метеорологічної служби. Також, слід зазначити що фізичне прогнозування краще використовувати на горизонтах від декількох годин до декількох днів, оскільки воно включає просторові і тимчасові фактори в рамках загальної гідродинамічної моделі. Незважаючи на точність фізичного підходу, йому властиві деякі обмеження, а саме: недостатність експертних даних для калібрування і параметризації, а також не дуже високий дозвіл при великій площі та труднощі при урахуванням топографії.

У статистичному підході безліч енергетичних залежностей і метеорологічних процесів точно не аналізуються, проте встановлюється зв'язок між «історичними» даними щодо виробленої енергії і погодою. На основі такої статистичного зв'язку складається прогноз про роботу СЕС. До статистичних відносяться авторегресійні методи, методи змінного середнього, авторегресійні моделі змінного середнього, авторегресійна інтегрована модель змінного середнього, а також методи, засновані на фільтрах Кальмана, гаусових процесів та ін. Оскільки погода відносно швидко змінюється в часі, статистичні моделі, як правило, ефективні для дуже короткострокових прогнозів (1-3 години).

Слід зазначити, що у світовій сонячній енергетиці прогнозування вироблення сонячної енергії на короткі терміни не має відпрацьованої та випробуваної технології і досить часто пов'язане із великими похибками прогнозу, які можуть становити до 60-65% [2, 6-8]. При цьому, чим більший період та площа прогнозу тим більш точно можна спрогнозувати результат генерації [4]. В межах світової сонячної енергетики прогнози обсягів генерації виконуються кількома великими компаніями, розташованими в США (Clean Power Research, Windlogic Inc), в Німеччині (WEPROG), в Іспанії (IRSOLAV) і в Норвегії (DNV-GL)[2, 9-11].

Постановка завдання. Науковою задачею виконуваних досліджень є розробка інформаційної системи прогнозу кількості виробленої енергії СЕС на основі використання математичного апарату нейро-нечітких мереж, з метою визначення прогнозованих об'ємів виробленої електроенергії на короткострокові періоди часу. Задача є актуальною, оскільки її вирішення забезпечить підвищити точність прогнозування ефективності роботи СЕС з метою надання оперативної інформації до мережі Smart Grid.

Викладення матеріалу та результати. Пропонується структура процесу інтелектуального контролю та моніторингу роботи сонячних електростанцій для приватних домогосподарств, яка дозволяє виконувати моніторинг поточного стану енергосистеми приватного домогосподарства, а саме: моніторинг і прогнозування споживання та видобутку електроенергії [6-8]. Ядром системи є експертна система, яка являє собою блок управління, який «навчається» протягом усієї своєї роботи. Тобто поповнює або коригує свою базу знань залежно від змін внутрішніх або зовнішніх факторів приміщення, обліку днів тижня або сезону року, в якому вона працює. У якості входних параметрів обираються значення напруги та струму живлення.

Логіко-функціональна схема роботи експертної системи представлена на рис. 3. Для реалізації блоку «Логічний висновок і формування керуючої інформації» запропоновано використовувати адаптивну систему нейро-нечіткого виводу. Дана система дозволяє автоматично формувати прогноз щодо спожитої та виробленої енергії і додатково формувати керуючу інформацію для регулювання та балансування навантаження споживача залежно від значень виробленої енергії фотоелектричними елементами. Моделювання процесів управління виконано в середовищі MatLab з пакетом розширення Fuzzy Logic Toolbox [5, 6].

Блок «Логічний висновок і формування керуючої інформації» може формувати керуючий вплив на електричні побутові прилади, наприклад на основі використання розумних розеток, з метою збалансування використання електроенергії в моменти максимального вироблення електроенергії фотоелектричними елементами. Також до головних функцій блоку можна віднести формування прогнозу спожитої та виробле-



Рис. 3. Логіко-функціональна схема роботи інформаційної системи прогнозування продуктивності СЕС

ної енергії на певний період, зокрема на добу, тиждень або місяць.

Блок «Логічний висновок і формування керуючої інформації» містить систему нечіткого виводу. Дана система представлена у вигляді нейро-нечіткої п'ятишарової мережі прямого поширення помилки. Мережа реалізує систему нечіткого виводу типу Сугено нульового порядку та має такі входні змінні: IVG – пора року; IT – місцевий час; ICO – локальний прогноз погоди; ICP – температура оточуючого середовища; IEI – кількість споживаної енергії у відсотках; IEO – кількість виробленої енергії у відсотках. Виходом мережі є дві лінгвістичні змінні OU та OP, які залежно від значень входних змінних формують керуючу інформацію для виконавчих пристроїв, тобто включення/вимикання побутової техніки та прогнозу за кількістю виробленої енергії для системи EMS.

Для лінгвістичної оцінки входної змінної IVG використовується чотири терми, для змінної IT – 6 термів, для змінної ICO – 5 термів, для змінної ICP – 5 термів, для змінної IEI – 10 термів, для змінної IEO – 10 термів. У якості терми-множини першої лінгвістичної змінної IVG використовується множина $TIVG = \{\text{«зима»}, \text{«весна»}, \text{«літо»}, \text{«осінь»}\}$, яка записується в символічному вигляді як $TIVG = \{IVGZ1, IVGL2, IVGL3, IVGL4\}$. У якості терми-множини другої лінгвістичної змінної IT використовується безліч $TIT = \{\text{«ранній ранок»}, \text{«ранок»}, \text{«полудень»}, \text{«вечір»}, \text{«пізній вечір»}, \text{«ніч»}\}$, яке записується в символічному вигляді як $TIT = \{ITR, ITU, ITP, ITV, ITPV, ITN\}$. У якості терми-множини третьої лінгвістичної змінної ICO використовується множина $TICO = \{\text{«дощ»}, \text{«пасмурно»}, \text{«хмарно»}, \text{«з проясненнями»}, \text{«сонце»}\}$, яка записується в символічному вигляді як $TICO = \{ICON, ICOP, ICOK, ICOJ, ICON\}$. У якості терми-множини четвертої лінгвістичної змінної ICP використовується множина $TICP = \{\text{«холодно»}, \text{«прохолодно»}, \text{«комфортно»}, \text{«жарко»}, \text{«дуже жарко»}\}$, яка записується в символічному вигляді як $TICZ = \{ICZH, ICZP, ICZK, ICZJ, ICZN\}$. У якості терми-множини п'ятої лінгвістичної змінної IEI використовується множина $TIEI = \{\text{«10 \%»}, \text{«20 \%»}, \text{«30 \%»}, \text{«40 \%»}, \text{«50 \%»}, \text{«60 \%»}, \text{«70 \%»}, \text{«80 \%»}, \text{«90 \%»}, \text{«100 \%»}\}$, яка записується в символічному вигляді як $TIEI = \{IEI1, IEI2, IEI3, IEI4, IEI5, IEI6, IEI7, IEI8, IEI9, IEI10\}$. У якості терми-множини шостої лінгвістичної змінної IEO використовується множина $TIEO = \{\text{«10 \%»}, \text{«20 \%»}, \text{«30 \%»}, \text{«40 \%»}, \text{«50 \%»}, \text{«60 \%»}, \text{«70 \%»}, \text{«80 \%»}, \text{«90 \%»}, \text{«100 \%»}\}$, яка записується в символічному вигляді як $TIEO = \{IEO1, IEO2, IEO3, IEO4, IEO5, IEO6, IEO7, IEO8, IEO9, IEO10\}$. Терм-множина вихідної лінгвістичної змінної OU становить множину значень для розумних розеток побутових пристроїв $TOU = \{U_j\}$, $j=1, \dots, 3$. Залежно від отриманих значень можна виділити такі режими розумних розеток: U_1 – виключити розетку; U_2 – включити розетку; U_3 – нічого не робити. Терм-множина вихідної лінгвістичної змінної OP становить множину значень для визначення відносної кількості виробленої енергії, яка залежить від генеруючої потужності фотоелектростанції і є індивідуальним значенням для кожної MICRO GRID: $TOP = \{U_j\}$, $j=1, \dots, 11$. Залежно від отриманих значень можна виділити такі потужності виробленої енергії: U_1 – 0 %, U_2 – 10 %, U_3 – 20 %, U_4 – 30 %, U_5 – 40 %, U_6 – 50 %, U_7 – 60 %, U_8 – 70 %, U_9 – 80 %, U_{10} – 90 %, U_{11} – 100 %.

Програмна реалізація нейро-нечіткої мережі отримана в математичному пакеті Matlab Fuzzy Logic з використанням програмної m-функції ANFIS, де у якості входних змінних було використано: IVG, IT, ICO, ICP, IEI, IEO, а у якості вихідних OU та OP. У якості алгоритму навчання мережі ANFIS для визначення параметрів функції належності було вибрано метод зворотного поширення помилки, заснований на градієнтному методі найшвидшого спуску.

Процес заповнення бази даних (БД) експертної системи відбувається в декілька кроків. Першим кроком є запис значень спожитого та виробленого струму, значення температури, пори року та часу до БД протягом деякого часу T. Час T обирається відповідно до вимог EMS і може сягати від доби до місяця.

Приклад значень БД експертної системи представлено у таблиці 1, і відповідно структура таблиці відповідає першій нормальній формі.

Завданням підсистеми придбання знань є оновлення бази знань на основі отриманої інформації з датчиків. Слід зазначити, що експертна система може бути в стані навчання і в звичайному стані. Метою режиму навчання є формування блоком логічного виводу керуючої інформації для виконавчих пристроїв та прогнозу для системи EMS.

Висновки та напрямки подальших досліджень. В результаті досліджень було проведено моделювання роботи системи на основі запропонованого підходу. Зокрема, моделювалася ситуація наявності однієї фотоелектричної панелі потужністю 250 Вт, у якості навантаження обиралися значення в межах 2.5 кВт. Слід зазначити, що значення потужностей одержуються в результаті використання датчиків струму, прогноз погоди отримується на основі використання поточних значень температури та тиску.

Навчальна вибірка отримана на основі використання методу Монте-Карло. Структура навчальної вибірки відповідає структурі БД експертної системи та наведена у табл. 1. Обсяг навчальної вибірки склав 17280 записів, із розрахунку, що моделювалася робота системи протягом 12 днів з інтервалом дискретизації 1 хв.

Інформаційна інтелектуальна система прогнозування кількості виробленої енергії використовує блок нейро-нечіткого виводу з метою надання оперативної та більш точної (похибка в межах 4-5 %) інформації для системи EMS. Початкове значення кроку навчання в напрямку антиградієнта критерію E при зміні параметрів функції належності задано рівним $\alpha=10^{-4}$. Допустима зміна величини кроку за одну ітерацію – 14 %. Для навчання мережі значення критерію навчання, в середньому, становить $E=2,037$, після 500 ітерацій – $E=0,138$.

Головною особливістю запропонованої структури інформаційної системи є те що вона може бути частиною мережі SMART GRID. Автоматичне створення прогнозу виробленої енергії дає можливість виконувати управління побутовими приладами. У результаті чого в період часу, коли відбувається період збільшення або зменшення видобутку енергії, інформаційна система здатна зменшити витрати використовуваного енергетичного ресурсу за рахунок управління роботою побутовою технікою.

Список літератури

1. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф [Електронний ресурс] / Офіційний сайт державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України. -Київ, 2019.-Режим доступу: <http://saee.gov.ua/sites/default/files/VDE.pdf>.
2. Гаевский А.Ю. Прогнозирование мощности ФЭС на основе спутниковых данных / А.Ю. Гаевский, О.В. Мельник // Матеріали XIV Міжнародної конференції «Відновлювана енергетика XXI століття», Крим. 16-20 вересня 2013. – с. 248-249.
3. Прогнозування роботи сонячної електростанції [Електронний ресурс] / Офіційний сайт компанії Rentechno.- Київ, 2019.- Режим доступу: <https://rentechno.ua/blog/solar-pv-forecast.html>
4. Сучасний стан енергоменеджменту в Україні [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Українського фонду соціальних інвестицій. -Київ, 2015.-Режим доступу: www.usif.org.ua.
5. Кузнєцов Д.І. Експертна система розпізнавання дефектів електрообладнання / Д.І. Кузнєцов, А.І. Купін//Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг: зб. матеріалів III всеук. наук.-техн. конф. 2012р.- Донецьк.: ДонНТУ, 2012.-С.185-187.
6. Кузнєцов, Д. І. Інформаційна система енергоменеджменту побутової техніки у системах типу «Інтелектуальний Дім»[Текст]/ Д. І. Кузнєцов, І.О. Музика //Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2017. – №45. – С. 33–38.
7. Кузнєцов Д.І. Структура експертної системи моніторингу поточного стану електрообладнання / Д.І. Кузнєцов, А.І. Купін // Стратегія якості в промисловості та освіті: IX міжнар. наук.–практ. конф. 2013р.: тези доповідей. Варна, 2013. – С.333–335.
8. Денисюк С. П. Аналіз проблем впровадження віртуальних електростанцій [Текст] / С. П. Денисюк, Д. С. Горенко // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2016. – №2. – С. 25–33.
9. Lasseter, R. Microgrid: A Conceptual Solution [Електронний ресурс] / R. Lasseter, P. Piagi // PESG'04 Aachen, Germany. – 2004. – Режим доступу: URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.374.8193&rep=rep1&type=pdf>.
10. Кечкин, А. Ю. Вопросы создания виртуальных электростанций в масштабе Micro-Grid [Текст]/ А. Ю. Кечкин, Е. Н. Соснина, А. В. Шалухо // Вестник НГИЭИ. – 2015. – С. 50–55.
11. Wen, C. Droop Control of Parallel Dual-Mode Inverters Used in Microgrid [Електронний ресурс] / C. Wen, Z. Liu, Z. Li // International Conference on Power Electronics and Energy Engineering. –2015.– Режим доступу: URL: http://www.atlantispress.com/php/download_paper.php?id=24810

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 666.97:620.169

Л.М. КОВЕРНІЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., О.П. ХІЛЬЧЕНКО, ст. викл.,
Криворізький національний університет

ШТУЧНІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

Мета. Метою роботи є дослідження типів в'язучих речовин, що визначають особливості мікроструктури, пов'язані з переважанням певних кристалічних форм новоутворень. Наприклад, при взаємодії напівводного гіпсу з водою утворюються голчасті кристали дигідрогеного гіпсу, тісно переплетені один з одним, і з віком затвердіння гіпсового каменю збільшується в їх розмірах.

Методи. При зміцненні портландцементу тісто новоутворення виникають в різних кристалічних формах, що багато в чому залежить від температури середовища і концентрації гідрату оксиду кальцію в рідкій фазі. Найбільш характерним є утворення перенасичених розчинів і гелоїдних мас. На основі одного і того ж в'язучого, наприклад, портландцементу, вироби можуть бути виготовлені з різними наповнювачами - щільним щебенем і піском у важкому цементному бетоні, пористому гравію і піску в легкому цементному бетоні, азбесту в азбестоцементних виробках, дробленого дерева і арболіт, деревна вовна у фіброліті, гранульований полістирол у пористому бетоні, кварцовий пісок у будівельних розчинах та ін.

Наукова новизна. Характер пористості є найважливішою специфічною особливістю. Виключити з обсягу пори і капіляри практично не представляється можливим. Пористість будівельних матеріалів коливається в дуже широких межах: від 0 (скло) до 95% і вище (плити з мінеральної вати і ін.). У виробках пори, а також інші види нещільності (мікро-і макротрещини, раковини і каверни, порожнини і порожнечі) зосереджені в в'язучій частині, що заповнює частини і в контактній зоні, тобто по поверхнях розділу цих двох структурних компонентів.

Практична значимість. При використанні неорганічних в'язучих речовин, що заповнені водою або водними розчинами деяких солей, мікро і макропор в'язучої частини пов'язані з процесами на стадіях твердіння і зміцнення. В цей досить невизначений за часом період з'являються, по-перше, пори гелю, що виникли як проміжки між його частинками за рахунок синерезиса і випаровування води, яка адсорбційно зв'язана з його мицеллами, а за характером вони в основному замкнуті.

Результати. Застосування полімерних матеріалів як сполучний компонент в суміші з мікронаповнювачами також призводить до деякої пористості в'язучої частини. Пори виникають в результаті випаровування продуктів поліконденсації, якщо використовуються термоактивні олігомери і полімери в ході контракції. За розміром вони відносяться до мікропор і так само, як і при інших в'язучих, кількість їх і розмір змінюються в наступний період формування структури. У випалювальних в'язуча частина має пори капілярні і замкнуті за рахунок часткового виходу газоподібних продуктів розкладання і термальних реакцій.

Таким чином, крім згаданих пор, в'язучі частини можуть мати відносно великі сферичні пори розміром від 50-100 мкм до 2-5 мм, які утворюються в різних кількостях в залежності від того, чи вони мимоволі або довільно формуються. Якщо вони виникають внаслідок спонтанного залучення повітря у виробництво суміші компонентів, то їх кількість зазвичай невелика (2-5%), але якщо вони виникають під впливом спеціального повітряного або порового формування, під час випалювання, і інші добавки.

Ключові слова: будівельні матеріали, структура, пори, пустоти.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-111-114

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Структура складається з в'язучої речовини, заповнюючого матеріалу і капілярно-порової частини. Ці особливості полягають у різновиду в'язучої речовини яка використовується для матеріалу, а також в конкретних кількісних співвідношеннях в'язучої і заповнюючої частин; в характері контактування цих частин між собою по поверхнях їх розділу. До особливостей, крім того, відноситься ряд фізичних ознак, матеріали розрізняються між собою, - текстурою, кольором, вагою, здатністю структури протистояти впливу теплових і механічних факторів, наприклад стирання, ударним і статичних навантажень, високих і низьких температур [1-8].

Аналіз досліджень і публікацій. На сьогодні опублікована велика кількість науково-технічного матеріалу присвяченого структурі, різновиду в'язучої речовини яка використовується для матеріалу.

Постановка задачі. Метою являється дослідження штучних будівельних матеріалів які зумовлюють особливості мікроструктури, що пов'язані з переважанням певних кристалічних форм новоутворень. Так, наприклад, при взаємодії напівводного гіпсу з водою утворюються голчасті кристали двуводного гіпсу, тісно переплітаються між собою і з віком твердіння гіпсового каменю збільшуються в своїх розмірах.

Викладення матеріалу та результати. При затвердінні портландцементного тіста виникають новоутворення в різних кристалічних формах, що в значній мірі залежить від температури

середовища і концентрації гідрату окису кальцію в рідкій фазі. Найбільш характерним є утворення пересичених розчинів і гелювидних мас. У них виникають центри кристалізації, які обумовлюють формування субмікрокристалічних частинок гідросилікатів кальцію, утворюються відносно великі кристали гідрату окису кальцію, гексагональних пластинок гідроалюмінатів кальцію, кристалізуються зазвичай навколо зерен C_3A , виділяються інші форми новоутворень. При твердінні каустичного магнезиту виростають кристали оксихлорида магнею в аморфній масі гідрату окису магнею [9-25].

На основі одного і того ж в'язучого, наприклад портландцементу, вироби можуть виготовлятися з різними наповнювачами - щільним щебенем і піском в важких цементних бетонах, пористим щебенем і піском в легких цементних бетонах, азбестом в азбестоцементних виробках, дробленки деревини і арболіта, деревної шерсті в фіброліті, гранульованим полістиролом в поризованих бетонах, кварцовим піском в будівельних розчинах і т.п. По виду цих заповнюючих матеріалів складається перше враження про характер виробів, очікувані показники його фізичних, механічних і технологічних властивостей, експлуатаційних якостей і довговічності.

При затвердінні керамічного розчину виділяються кристали муллита, зцементованого склом легкоплавких евтектик. Аналогічним чином виникають мікроструктури інших затверділих в'язучих речовин, що вивчаються за допомогою мікроскопічних досліджень у відбитому світлі, комплексу оптичних характеристик-показників світлопереломлювання, форми кристалічних зерен, забарвлення, тріщин спайності та ін.

Різновид заповнюючого матеріалу досить яскраво і безпосередньо характеризує макроструктуру виробів, особливо при вивченні шліфів, зумовлює його фізичні характеристики.

Характер пористості є найважливішою специфічною особливістю. Виключити з обсягу пори і капіляри практично не представляється можливим. Пористість будівельних матеріалів коливається в дуже широких межах: від 0 (скло) до 95% і вище (плити з мінеральної вати і ін.). У виробках пори, а також інші види нещільності (мікро-і макротрещини, раковини і каверни, порожнини і порожнечі) зосереджені в в'язучій частині, що заповнює частини і в контактній зоні, тобто по поверхнях розділу цих двох структурних компонентів. У в'язучій частині і контактній зоні переважають пори порівняно малих розмірів, тоді як в заповнюючій частині зосереджуються макропори і інші нещільності. Всі види пір і нещільності в кінцевому рахунку впливають на інтегральну величину пористості і відображаються на величині об'ємної маси, а також на всіх основних характеристиках – міцності, морозостійкості, водопоглинанні і т.п. Пори в'язучої частини мають різне походження, що залежить від виду застосовуваного цементуючого матеріалу.

При використанні неорганічних в'язучих речовин, що заповнені водою або водними розчинами деяких солей, мікро і макропор в'язучої частини пов'язані з процесами на стадіях твердіння і зміцнення. В цей досить невизначений за часом період з'являються, по-перше, пори гелю, що виникли як проміжки між його частинками за рахунок синерезиса і випаровування води, яка адсорбційно зв'язана з його мицеллами, а за характером вони в основному замкнуті. По-друге, утворюються пори за рахунок усадочних явищ при хімічній взаємодії реагуючих інгредієнтів, які зазвичай називають контракційними і які за своїм розміром перевищують гелеві пори. При випаровуванні капілярної вологи, розташованої між агрегатами гелю (роями мицелл), утворюються – по-третє, капілярні пори, розмір яких в поперечнику становить від 1000×10^{-7} до $50\,000 \times 10^{-7}$ см, тобто за своїм характером в тисячі разів більше, ніж пори гелю. Капілярні пори в основному відкриті і сполучаються між собою (рис. 1, 2) [26-35].



Рис. 1. Кристали етtringіту голчастої структури товщиною 2 мкм з гекса- етtringіту розташовані щільно гональним перетином один до одного



Рис. 2. Зверхе тонкі кристали

Кількісний вміст різних пір можна з відомим наближенням визначити розрахунковим шляхом або добре розробленими експериментальними методами порометрії. Різноманіття розміру пір дозволяє відзначити, що затверділий камінь неорганічного в'язучої речовини, наприклад цементний камінь, характеризується неоднорідною пористістю структури. У порах може утри-

муватися значна кількість води, по різному пов'язаної з твердою фазою а, отже, має з нею диференційний характер зв'язку і по міцності, і по товщині плівок (вода гідратних і високогідратних з'єднань, сорбована, гігроскопічна в мікропорах, вільна в мікропорах, вільна в великих порах). Кількість всіх видів води в порах і капілярах є змінним і змінюється в міру протікання процесів твердіння тіста і випаровування з нього вільної води.

Застосування полімерних матеріалів як сполучний компонент в суміші з мікронаповнювачами також призводить до деякої пористості в'язучої частини. Пори виникають в результаті випаровування продуктів поліконденсації, якщо використовуються термоактивні олігомери і полімери в ході контракції. (рис.3-6).

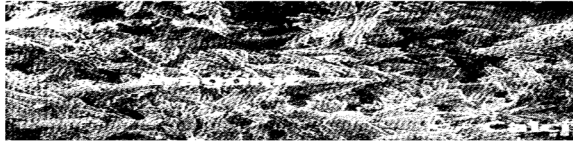


Рис. 3. Кальцит і арагоніт

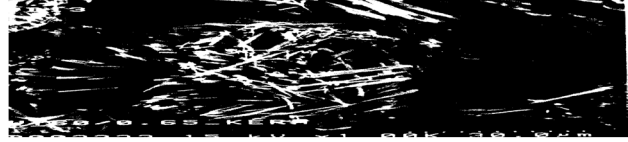


Рис. 4. Голчатий етрингіт і повітряні пори

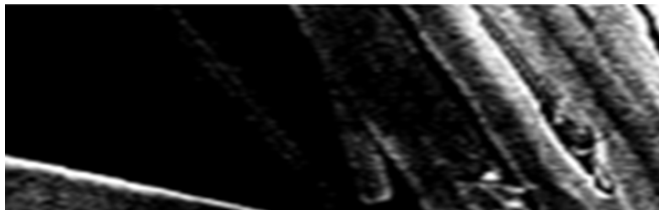


Рис. 5. Арагоніт



Рис. 6. Кальцит

За розміром вони відносяться до мікропор і так само, як і при інших в'язучих, кількість їх і розмір змінюються в наступний період формування структури. У випалювальних в'язучих частина має пори капілярні і замкнуті за рахунок часткового виходу газоподібних продуктів розкладання і термальних реакцій [36-44].

Висновки та напрямки подальших досліджень. Таким чином, крім зазначених вище пор у в'язучих частинах можуть знаходитися порівняно великі сферичної форми пори розміром від 50-100 мкм до 2-5 мм, які утворюються в різних кількостях залежно від того, мимоволі або довільно вони утворені. Якщо вони виникають внаслідок мимовільного залучення повітря при виготовленні суміші компонентів, то їх кількість зазвичай невелика (2-5%), але якщо вони виникають під впливом спеціальних повітряно залучаючих або пороутворюючих, що вигоряють при випалюванні, та інших добавок, то в порізованій в'язучій речовині може зосереджуватися до 50% і більше сферичних пор, найчастіше замкнутих.

Список літератури

1. Коверніченко Л.М. Заповнювачі для бетону і взаємодія їх з водою/ Коверніченко Л.М. Збірник наукових праць. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк ЛНТУ, 2017, №8. - С.103-110.
2. Шишкін О.О. Спеціальні бетони для підсилення будівельних конструкцій, що експлуатуються в умовах дії агресивних середовищ/ Шишкін О.О. Навчальний посібник для студентів ВНЗ - Кривий Ріг: Мінерал, 2001. - 113 с.
3. Штарк Йохен, Вихт Бернд. Долговечность бетона / Пер. с нем. - А. Тулаганова. Под ред. П. Кривенко, Техн. ред. Е. Кавалеровой. Киев: Оранта, 2004. - 301 с.
4. Пунагин В.Н. Долговечность бетонных и железобетонных изделий и конструкций / Пунагин В.Н., Приходько А.П., Савицкий Н.В. Учебное пособие для студентов ВУЗов. - Киев: УМК ВО, 1988. - 112 с.
5. Кривенко П.В. Долговичність шлаколузжого бетону/Кривенко П.В. Пушкарьова К.К. К. Будівельник, 1993. - 224 с.
6. Чернявський В.Л. Адаптація бетону / Чернявський В.Л. Дн-ськ Нова ідеологія, 2002. - 116 с.
7. Steenson H. N. Fast set shotcrete in concrete construction. «ACI Journal», ProcV-71, 1974 № 6, pp. 289-295.
8. Чернявський В.Л. Строительные материалы на основе вяжущих веществ/ Чернявський В.Л. М.: Высш.школа, 1978.-309 с.
9. Москвин В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты/ Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н. Гузев Е.А./ под общ. ред. Мсквина В.М. - М.: Стройиздат, 1980. - 536 с.
10. Коверніченко Л.М. Гетерогенна полідисперсна система/Качество минерального сырья. Сб.наук.праць.т.2-2018.С.182-186.
11. Kovernichenko L, Shishkin A. Regulation of the influence of the structure of inorganic binders on their properties/Technology audit and production reserves.2018.№3/1(41).
12. Steenson H. N. Fast set shotcrete in concrete construction. «ACI Journal», ProcV-71, 1974 № 6, pp. 289-295.
13. Чернявський В.Л. Строительные материалы на основе вяжущих веществ/ Чернявський В.Л. М.: Высш.школа, 1978.-309 с.
14. Steenson H. N. Fast set shotcrete in concrete construction. «ACI Journal», ProcV-71, 1974 № 6, pp. 289—295. Zln-da S. G. Properties of sand—mix shotcrete. Shotcretmg, Publicaion Sp-14 ACI.

15. **Fredericks J. C., Saunders N. R., Broadfoot J. T.** Recent developments in positive displacement shotcrete equipment. Shotcreting, Publication Sp—14 ACI.
16. **Ir O. K.**, Multiple laxer shotcrete tunnel lining. Shotcreting, Publication Sp-14 ACI.
17. **Reading T. J.** Shotcrete as a construction material. Stfpiercihg, Publication SP-14, ACI.
18. **Kovernichenko L., Shishkin A.** Regulation of the influence of the structure of inorganic binders on their properties//Technology audit and production reserves.2018.№3/1(41).
19. **Кузнецова А.М.** Технология вяжущих веществ и изделий из них.// Учебник для студентов ВУЗов М. Высш. шк., 1963.-455 с.
20. **Моцанский Н.А.** Повышение стойкости строительных материалов и конструкций, работающих в условиях агрессивных сред.// М. Госстройархиздат, 1962. - 235 с.
21. **Нікіфоров О.П.** Важкі бетони на шлаковміщуючих в'язучих з комплексними модифікаторами.// Дн-ськ Пороги, 1996. - 232 с.
22. **Пішійко О.М.** Підводне бетонування та ремонт штучних споруд: //Монографія. – Дніпропетровськ: Пороги, 2000. – 411 с.
23. **Чернявський В.Л.** Адаптація бетону. //Дн-ськ Нова Ідеологія, 2002. - 116 с.
24. **Brux G. Neure** Betonherstellungs und Verarbeitungsverfahren, Der Eisen bauingenieur, 1956 № 3.
25. **Chefdeville J.** Beton de blocage et mortars actives, «Annales de b'institut technique du batiment et travaux publics.», 1959 № 144.
26. **Clark B. E.** Teoretical basis of pressure grout penetration, Journal of Amer. Concr. Inst., 1955, vol. 27 № 2.
27. **Fredericks J. C., Saunders N. R., Broadfoot J. T.** Recent developments in positive displacement shotcrete equipment. Shotcreting, Publication Sp—14 ACI.
28. **Ir O. K.**, Multiple laxer shotcrete tunnel lining. Shotcreting, Publication Sp-14 ACI.
29. **Reading T. J.** Shotcrete as a construction material. Stfpiercihg, Publication SP-14, ACI.
30. **Stenson H. N.** Fast set shotcrete in concrete construction. «ACI Journal», ProcV-71, 1974 № 6, pp. 289—295. Zln-da S. G. Properties of sand—mix shotcrete. Shotcretimg, Publicaion Sp-14 ACI.
31. **Агурич Д. П., Воробьев И. П., Нестеров В. Г.** Торкретирование тепловых агрегатов. М., Стройиздат, 1972.
32. **Захарченко Г. А., Хаютин Ю. Г., Совадов И.П** Раздельное бетонирование конструкций с нагнетанием активированного раствора в крупный заполнитель. М., ЦБТИ ЦНИИОМТП, 1968.
33. **Избаш С. В., Слиеский П. М.** Гидравлические основы возведения плотин замывом каменной наброски песком. // Труды МЭИ, вып. XXXXVI.М., 1961.
34. **Каргелев И. Е.** Инъекционный способ бетонирования гидротехнических и других массивных сооружений. //Автореф. дис. на соиск. уч. степени. Л., 1954.
35. **Лермит Р.С** Проблемы технологии бетона. М., Госстройиздат, 1959.
36. Рекомендации по применению активированного торкрета в конструкциях сооружений. ВНИИГ. Л, Энергия, 1973.
37. **Третьяков А. К.** Исследование способа раздельного бетонирования гидротехнических сооружений. //Автореф. дис. на соиск. уч. степени. М., 1956.
38. **Brux G. Neure** Betonherstellungs und Verarbeitungsverfahren, Der Eisen bauingenieur, 1956, № 3.
39. **Chefdeville J.** Beton de blocage et mortars actives, «Annales de b'institut technique du batiment et travaux publics.», 1959, № 144.
40. **Касаткин А.Г.** Основные процессы и аппараты химической технологии. М, «Химия»1971.
41. **Рыбьев И.А.** Строительные материалы на основе вяжущих веществ. –М: Высш.школа, 1978.-309 с.
42. **П.В.Кривенко,К.К.Пушкарьова**Довговічність шлакозужного бетону. // К. Будівельник, 1993. - 224 с.
43. **Москвин В.М., Иванов Ф.М Алексеев С.Н. Гузев Е.А.; под общ. ред. Мсквина В.М..** Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты // - М.: Стройиздат, 1980. - 536 с.
44. **Шестоперов С.В.** Долговечность бетона транспортных сооружений. // – М.: Изд-во «Транспорт», 1966. – 400с.

Рукопис подано до редакції 04.04.2019

УДК 004.056:007 (045)

Г.В. ДАНИЛІНА, Л.Л. ЖУКОВА, кандидати техн.наук, доценти,

Н.В. АНДРУСЕВИЧ, зав. відділення

Криворізький коледж національного авіаційного університету

С.Л. ЦВІРКУН, канд.техн.наук, викл., Криворізький національний університет

СТОХАСТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ УРАЗЛИВОСТЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕСКАЛАЦІЙНИХ ПАСТОК

Мета: розробити математичну модель і методику захисту комп'ютерної мережі від зовнішніх і внутрішніх загроз в умовах апріорної невизначеності стану мережі і ризику виникнення конфлікту з активним (розумним) партнером. Провести систематизацію на основі математичного апарату статистичної теорії ризику, теорії конфлікту, теорії масового обслуговування, дослідження операцій. Статистично оцінити потенційну ефективність і асимптотичні характеристики систем захисту.

Методи: спостереження, експеримент.

Наукова новизна: доведено, що при використанні методів конфліктного управління процесами захисту комп'ютерних мереж можна добиватися виграву, навіть якщо противник має помітну перевагу в ресурсах. Проведено систематизацію на основі математичного апарату статистичної теорії ризику, теорії конфлікту, теорії масового обслуговування, дослідження операцій.

Практична значимість: розроблено математичну модель і методику захисту комп'ютерної мережі від зовнішніх і внутрішніх загроз в умовах апріорної невизначеності стану мережі і ризику виникнення конфлікту з активним (розумним) партнером. Рішення даної задачі досягнуто шляхом рефлексивного управління – урахування сильних і слабких сторін противника, цілеспрямованого виснаження його ресурсів в атаках на хибні об'єкти і псевдосервіси. На основі теорії керованих марковських процесів запропонований метод конфліктного управління з прогнозуванням розвитку ситуації, покрокової ідентифікації параметрів і стану і корекції за наслідками поточного аналізу.

Результати: розроблена в рамках загальної теорії конфлікту стратегія відволікання ресурсів противника на псевдосервіси може дати виграву навіть в разі переваги ресурсів атаки над ресурсами захисту. Розроблено математичну модель і методику захисту комп'ютерної мережі від зовнішніх і внутрішніх загроз в умовах апріорної невизначеності стану мережі і ризику виникнення конфлікту з активним (розумним) партнером. Проведено систематизацію на основі математичного апарату статистичної теорії ризику, теорії конфлікту, теорії масового обслуговування, дослідження операцій. Статистично оцінено потенційну ефективність і асимптотичні характеристики систем захисту.

Ключові слова: математична модель, ескалаційна пастка, метод конфліктного управління, комп'ютерна мережа, псевдосервіс.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-114-121

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В даний час спостерігається великий інтерес до методів аналізу та оптимізації систем захисту комп'ютерних та об'єднаних мереж від атак і несанкціонованих вторгнень. Наводиться велике число прикладів таких систем, розробок різних протоколів, технологій, проектів і пов'язаних з ними міркувань, висновків та прогнозів. На жаль, систематизація в цій області знань на основі математичного апарату статистичної теорії ризику, теорії конфлікту, теорії масового обслуговування, дослідження операцій тощо займає в задачах побудови систем захисту вельми скромне місце. Прогалинами в цьому відношенні страждають роботи навіть провідних фахівців у цій галузі. Крім того, відсутні роботи по статистичному оцінюванню потенційної ефективності і асимптотичним характеристикам систем захисту. У даній роботі зроблена спроба якщо не повністю закрити цю нішу, то хоча б намітити шляхи постановки та розв'язання згаданих проблем.

Аналіз досліджень і публікацій. Судячи з результатів аналізу численних статей, монографій, матеріалів наукових і практичних конференцій, завдання захисту інформаційних ресурсів комп'ютерних мереж від атак з боку зовнішніх і внутрішніх порушників ніколи не втратить свою актуальність. У цей час опубліковані переліки декількох тисяч загроз та уразливостей інформаційно-комунікаційних систем. Зокрема, найбільш детальним описом такого роду є відкритий стандарт Європейського Союзу IT Baseline Protection Manual [1] обсягом більше чотирьох тисяч сторінок. Однак організація безпеки даних - не тільки систематизація, виявлення і відображення загроз, головне - управління ризиками, своєчасні превентивні заходи для зниження ризику загроз, щоденна робота по системному забезпеченню безпеки [2]. Для вирішення даного завдання вже недостатньо виявляти і реагувати на дії порушників. Необхідно не тільки прогнозувати такі дії, виключати уразливості в системах мережного захисту, але і відволікати зловмисників від мережних вузлів, в яких здійснюється зберігання і обробка інформаційних ресурсів.

Більш як десятиліття тому виникло розуміння, що пряме протиборство з шкідливими мережними впливами є практично марним. Був зроблений цілком логічний висновок про необхідність застосування методів, узятих з арсеналу системного аналізу, дослідження операцій у військовій справі і, нарешті, радіоелектронної боротьби - радіоелектронної і радіорозвідки, радіоелектронної протидії, дезінформації та ін.

Найбільший інтерес привернув метод так званої "медової пастки" [3] - заманювання на помилкові інформаційні об'єкти, що володіють високою вразливістю. В роботі [4] такі медові пастки названі псевдосервісами. Цілі колективи працювали над різноманітними проектами медових пасток [5,6]. Однак в результаті пошуку і аналізу численних літературних джерел нами були виявлені лише дві статті, що заслуговують на увагу [7,8]. Зокрема, в роботі [8] глибоко і всебічно опрацьований теоретичний підхід до оцінювання ефективності медових пасток (за термінологією статті - хибних інформаційних систем).

Однак в доступних нам джерелах не розглянуті питання аналізу можливої реакції супротивника у разі виявлення ним медових пасток. Також не розглянуті методи виключення або хоча б мінімізації подій виявлення.

Постановка задачі. З урахуванням вищевикладеного в даній роботі поставлено мету - розробити метод управління процесом захисту інформаційної системи на основі теорії конфлікту [9] і керованих марківських процесів [10].

Конфлікт не може розглядатися як задача оптимізації. При рівних ресурсах сторін "оптимальність" означає припинення конфлікту, а при нерівних - поразку більш слабкої сторони з імовірністю одиниця. Теоретично в конфлікті можливий виграш меншими силами. Проте, для досягнення виграшу з ймовірністю вище, ніж величина другого порядку малості, необхідно мати у своєму розпорядженні ресурси одного порядку з ресурсами атакуючої сторони.

Конфлікт з розумним противником не може бути розв'язаний і в рамках теорії адаптації. Своїми активними діями супротивник з імовірністю, що прямує до одиниці, досягне максимального виграшу. Ми ж, адаптуючись до умов, які постійно погіршуються, врешті-решт опинимося в найбільш невігідній ситуації.

Тому основними завданнями, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети, є: аналіз можливих стратегій конфлікту і вибір найбільш перспективних стратегій для даної задачі;

вибір математичного апарату для опису процесів розвитку конфлікту;

розробка математичної моделі конфлікту;

отримання асимптотичних характеристик ефективності.

Викладення матеріалу та результати. Відповідно до загальної теорії конфлікту процеси протиборства між атакуючої і захищається сторонами описуються диференційно-різницевиими рівняннями або рівняннями з аргументами, що відхиляються [11]. Це припущення справедливо для дискретних систем з запізненням, якими є комп'ютерні мережі й розподілені інформаційні системи.

У загальному випадку

$$\begin{cases} z'_{ids}(t) = f_1(t, z_{ids}(t), \dots, z_{ids}(t - \tau_1), u_1(t), v_2(t - \tau_2), \xi(t)); \\ z'_{icm}(t) = f_2(t, z_{icm}(t), \dots, z_{icm}(t - \tau_2), u_2(t - \tau_2), v_1(t), \eta(t)), \end{cases} \quad (1)$$

де z_{ids} і z_{icm} – вектори стану систем S_{ids} і S_{icm} відповідно; $u_1(t)$ і $u_2(t)$ – вектори управлінь в S_{ids} і S_{icm} відповідно; $v_1(t)$ – вектор дій S_{ids} на S_{icm} ; $v_2(t)$ – вектор дій S_{icm} на S_{ids} ; $\xi(t)$ і $\eta(t)$ – вектори випадкових збурень, які діють на S_{ids} і S_{icm} відповідно; τ_1 і τ_2 – запізнення у векторах S_{ids} і S_{icm} відповідно.

Ефективність E_1 системи S_{ids} й ефективність E_2 системи S_{icm} на інтервалі спостереження T у загальному випадку являють собою нелінійні функціонали станів z_{ids} , z_{icm} і векторів $\xi(t)$, $\eta(t)$ відповідно. З рівняння (1) випливає їх взаємна залежність.

Якщо врахувати фактор нормалізації випадкових процесів у великих системах [12], то можна застосувати для вирішення рівнянь (1) метод гаусовської апроксимації в малій околиці точок екстремуму E_1 і E_2 . У цьому разі вирази для ефективностей мають вигляд

$$E_1 = \int_0^T z_{ids}(t) dt, E_1 \rightarrow \max_{v_1} E_2 = \int_0^T z_{icm}(t) dt; E_2 \rightarrow \max_{v_2}. \quad (2)$$

Мета кожної системи - максимально підвищити свою ефективність за рахунок зниження ефективності супротивної сторони. Однак результат докладених зусиль стане відомий тільки в момент часу T . На інтервалі спостереження $0 \leq t \leq T$ можна виробляти найкращі управління $u_1(t)$, дії $v_1(t)$ та прогнозувати кінцевий результат, тільки спираючись на припущення про стратегії поведінки супротивника й дані про поточні стани z_{ids} і z_{icm} . Включення в рівняння (1) функцій $v_1(t)$ означає відволікання частини ресурсу на формування захисних або контратакують впливів. Отже, необхідно вирішувати задачу конфлікту або з додатковим критерієм мінімізації частки ресурсу, що відводиться на захист, або з обмеженням на допустимий витрата цієї частки ресурсу. Схема моделі конфлікту [1] між сторонами атаки S_{icm} та захисту S_{ids} , модифікована для випадку застосування стратегій ескалації в псевдосервісі (пастки, хибні інформаційні системи), наведена у роботі [4]. Модель реального конфлікту, як правило, є нелінійною, але для отриман-

ня асимптотичних оцінок при досить великому інтервалі спостереження (i , відповідно, при великому числі кроків розвитку конфлікту) є припустимим робити покрокову лінеаризацію моделі з екстраполяцією на основі методів кореляції та регресії [13]. Для пошуку коефіцієнтів екстраполяції лінеаризованої моделі розроблено модифіковану покрокову процедуру з заміною та примусовим включенням незалежних змінних. При цьому усунення з вибірки незалежних змінних $X_1, X_2, \dots, X_p$ (активні ресурси та псевдосервіси) відсутнього значення $X_i, 1 \leq i \leq p$ не є необхідним, оскільки воно може приводити до втрати про змінні $X_1, X_2, \dots, X_{i-1}, X_{i+1} \dots X_p$ інформації, яка доставляється елементом X_i . Теоретично можна залишити цей елемент у вибірці та використати виміри, що містяться в ньому, для обчислення вектора середніх значень $\bar{X}$ та матриці коваріацій R_X .

У реальній ситуації для отримання цих даних приходиться використовувати наближені методи:

видалення елементів, лишаючи тільки комплектні елементи, тобто елементи з повністю присутніми значеннями;

підстановку середнього: замість відсутнього значення X_i підставляється середнє значення $\bar{x}_i$, завдяки чому результуюча вибірка комплектується до повного об'єму n ;

попарного викреслювання, підстановки регресії тощо.

На жаль, для будь-якого зі згаданих методів їх статистичні властивості частіше за все невідомі, тому немає гарантій, що отримані оцінки будуть незміщеними. Тому елементи вибірки та/або змінні з відсутніми значеннями повинні бути видалені так, щоб забезпечити баланс між числом змінних і числом елементів, що залишилися. Іншими словами, максимізується число комплектних елементів вибірки: якщо елемент містить багато пропусків, його треба усунути. З іншого боку, якщо значення будь-якої змінної невідомо для більшості елементів, треба видалити цю змінну. Тоді можна застосовувати стандартні методи множинного регресійного аналізу [14].

На рис. 1 зображено математичну модель процесів розвитку конфлікту з передбаченням та виправленням помилкових припущень (модель типу "предиктор-коректор" [15]).

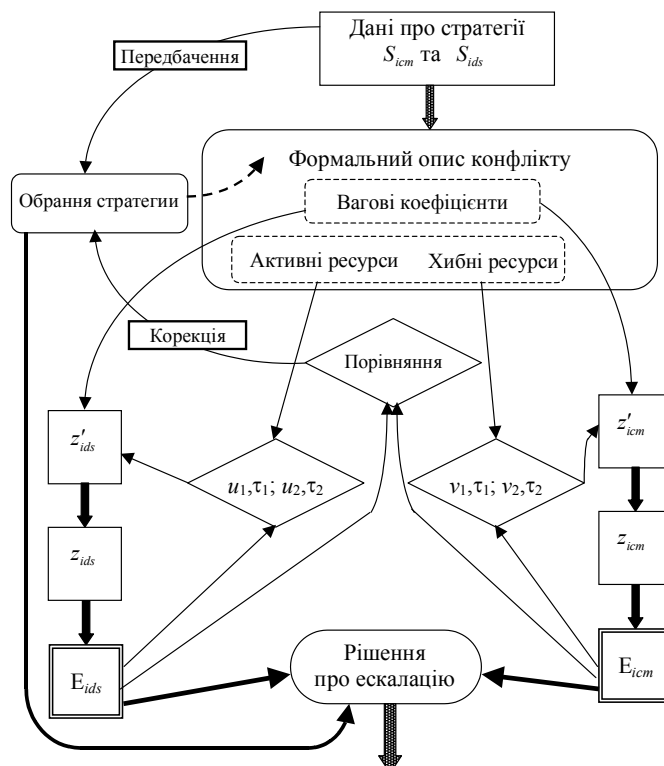


Рис. 1. Схема лінеаризованої моделі конфлікту з можливою ескалацією в псевдосервісі

Стратегії протидії і атак, розроблені відповідно до класичної теорії конфлікту [9] і модифіковані для конкретної розглянутої задачі, наведені в [4]. Тут же розглянемо набір найбільш наочних стратегій захисту:

ешелонування рубежів захисту типу "зовнішня - демілітаризована - внутрішня зони безпеки";

відмова від отримання - просте повернення підозрілого трафіку;

розподілена відмова від отримання - трансляція підозрілого трафіку на кілька точок і повернення трафіку з усіх цих точок;

насичення рубежів захисту псевдосервісами з відтворенням добре відомих вразливостей - затягування противника в ескалаційну пастку.

В системі захисту, заснованій на теорії конфлікту, передбачаються активні дії по відбиттю атаки. Тут розглядаються теоретичні моделі і методи аналізу, прогнозу розвитку конфлікту і оптимізації послідовностей захисних дій. Щодо правових аспектів адекватності заходів контратаки передбачається лише, що оцінка цієї адекватності в технічних системах може бути зроблена досить точно і об'єктивно.

Динамічні характеристики процесу розвитку конфлікту з ескалацією в псевдосервіси.

Процес розвитку конфлікту є розгалуженим напівмарківським процесом, перехідні і фінальні ймовірності якого залежать від співвідношення стратегічних $S(S_{ids}, S_{icm})$ й енергоінформаційних (E_{ids}, E_{icm}) ресурсів сторін. Різновидом розгалуженого процесу є циклічний розгалужений процес, формально схожий з процесом загибелі та розмноження. Однак при всій зовнішній схожості цих процесів циклічними розгалуженими процесами є тільки процеси, що мають дві вершини (рис. 2).

Поточний стан процесу можна записати в вигляді деякого функціоналу, $\delta R = \Psi[\varphi(S_{ids}, E_{ids}), \varphi(S_{icm}, E_{icm})]$ яким характеризується інтегральний вииграш від застосування тієї чи іншої стратегії S_{ids} з урахуванням інтенсивності її застосування $M_2[E_{ids}]$. Власне стратегія оцінюється по своїй інформаційній цінності, а інтенсивність - з енергетичного ресурсу (наприклад, за кількістю точок, з яких проводиться розподілена атака). В якості першого наближення для вибору виду функціоналу можна взяти адитивну міру множини стратегій, а відносний вплив конкретної стратегії врахувати ваговими коефіцієнтами або функціями.

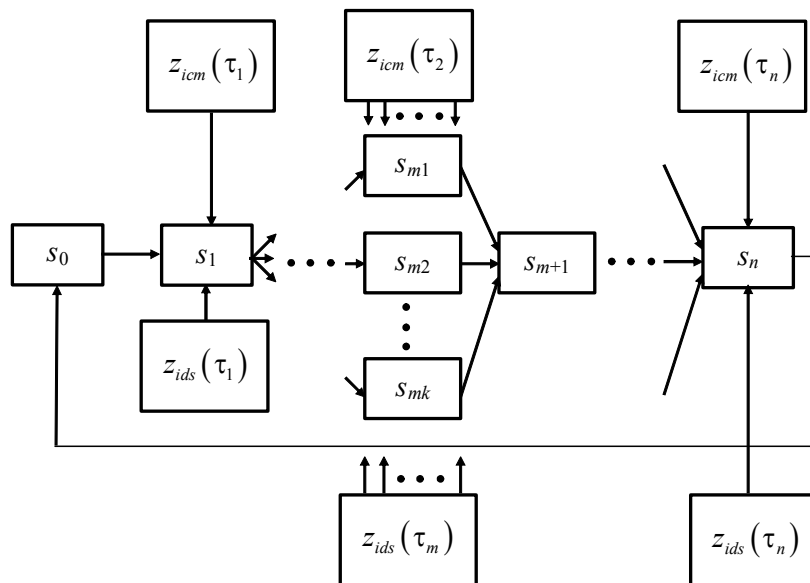


Рис. 2. Циклічний розгалужений процес конфлікту. Імовірності станів на j -му етапі

$$p_{ij}, \quad i = \overline{1, k}, j = \overline{1, n}, \quad \text{причому} \quad \sum_{i=1}^k p_{ij} = 1$$

Розглянемо алгоритмічну модель конфлікту між розподіленими системами атаки і захисту. Схема процесу моделювання атакуючих і контратакуючих потоків зображена на рис. 3.

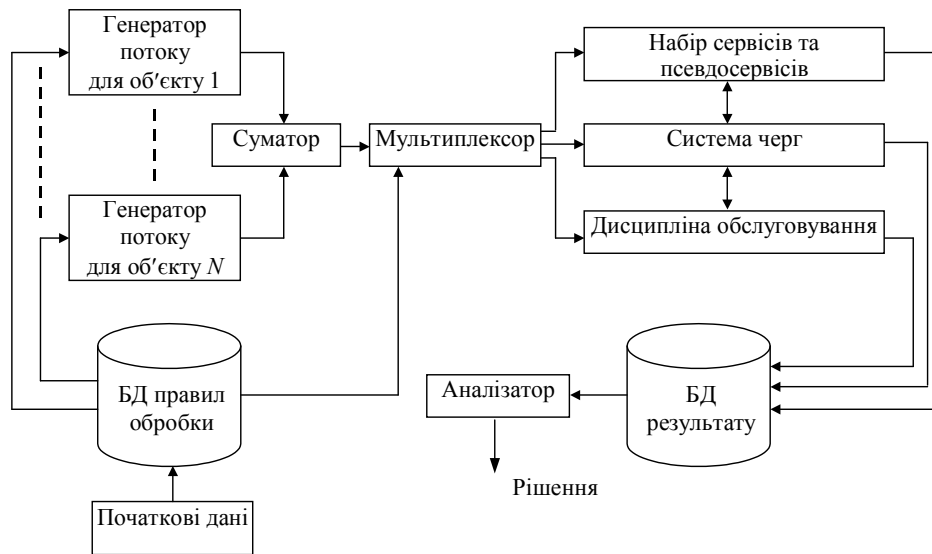


Рис. 3. Алгоритмічна модель

Як видно з рис. 3, рішення про вибір напрямку розвитку конфлікту приймаються на підставі результатів повного аналізу параметрів і стану системи, наявних вихідних даних і поточної інформації про характеристики мережного трафіку.

Мають місце послідовності дій і відповідних захисних заходів (пасивних, активних або й тих, і інших). Припустимо, що в результаті атаки ймовірність штатного функціонування об'єкта знижується, можливо, до нуля, а в результаті застосування відповідної захисного заходу ймовірність функціонування об'єкта підвищується, можливо, аж до вихідної величини. Таким чином, в кожен момент часу система може перебувати в одному з N можливих фазових станів $\phi_1, \phi_2 \dots \phi_N$, характеризують поточну ймовірність функціонування об'єкта. Відомі початковий стан системи (в початковий момент часу t_0 вона знаходиться в стані $\Psi_0 = \phi_1$) і однокрокові ймовірності переходу $\rho_{ik} = P\{\Psi_i = \phi_k | \Psi_{i-1} = \phi_i\}$, $i, k = \overline{1, N}$. Отже, якщо ігнорувати випадковий характер часу очікування і цікавитися тільки моментами переходу, то процес $\psi_i = \psi(t_i)$ є вкладений однорідний ланцюг Маркова [6]. Ймовірність переходу ρ_{ik} повністю визначається i -м станом об'єкта і результатами k -ї атакуючої дії.

Затримки τ_1 і τ_2 в системах S_{ids} і S_{ict} являють собою дискретні процеси $z_{ids}(\tau_1), z_{ict}(\tau_2)$, які не обов'язково є марківськими. Однак це не критично для подальшого аналізу, оскільки самі величини $\rho_{mn}, m, n \in M$, дають вичерпну інформацію про еволюцію конфлікту.

Порівнюємо кожному з ненульових елементів ρ_{ik} матриці ймовірностей переходу випадкову величину ζ_{ik} з функцією розподілу $F_{ik}(t) = F_{ik}(\tau_{ik} \leq t)$. У розглянутій задачі випадкову величину ζ_{ik} будемо трактувати як час перебування атакується об'єкта в стані ϕ_i за умови, що наступним станом, в яке перейде об'єкт, буде ϕ_k . При цьому величина ζ_{ik} вважається не негативною і безперервною з щільністю ймовірності $w_{ik}(t)$. При такій інтерпретації величину ζ_{ik} можна назвати часом знаходження об'єкта в стані ϕ_i до переходу в стан ϕ_k .

Припустимо, що точка, яка відображає поведінку системи в просторі станів, залишиться в стані ϕ_i впродовж часу ζ_{ij} , до того, як вона перейде в ϕ_j (див. рис. 4, 5). По досягненні стану ϕ_j «миттєво» (відповідно до матриці ймовірностей переходу $\{\rho_{ik}\}$) обирається наступний стан $\phi_n, n = \overline{1, N}$. Тут «миттєвість» трактується в тому сенсі, що тривалість переходу є величиною другого порядку малості в порівнянні з мінімальною тривалістю перебування в поточному стані.

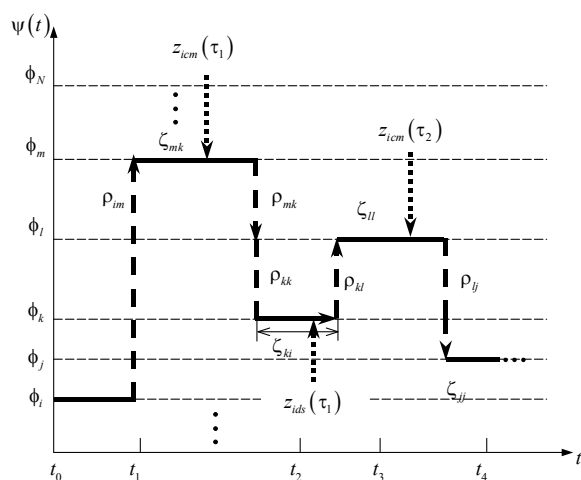


Рис. 4. Зміна ймовірностей функціонування об'єкта з системою захисту $z_{icm}(\tau_n) \succ z_{ids}(\tau_n)$

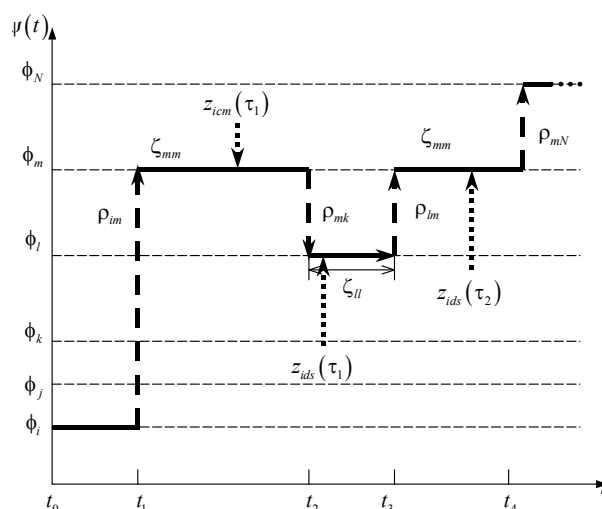


Рис. 5. Зміна ймовірностей функціонування об'єкта з системою захисту $z_{ids}(\tau_n) \succ z_{icm}(\tau_n)$

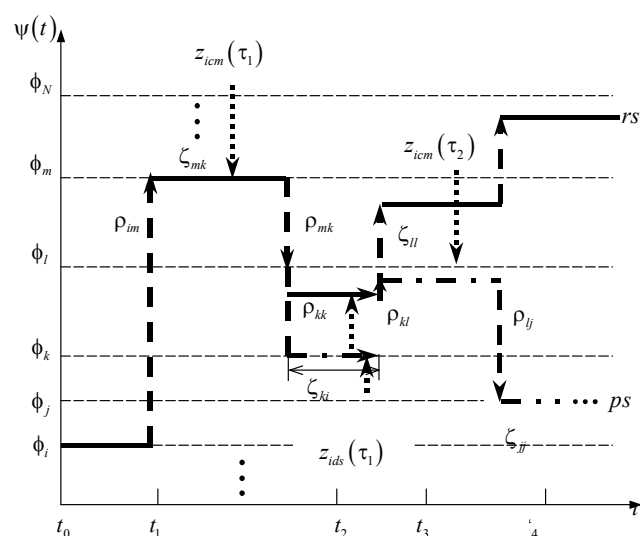


Рис. 6. Зміна ймовірностей функціонування об'єкта з системою захисту. rs – реальний сервіс; $z_{icm}(\tau_n) \succ z_{ids}(\tau_n)$; $p_{ps}=1-\epsilon$, $\epsilon \ll 1$ p_{ps} – ймовірність відволікання супротивника на псевдосервіс ps

Якщо для точки, що відображає поведінку системи і знаходиться в l -му стані, з імовірністю переходу ρ_{ll} знову обирається стан l , горизонтальна частина траєкторії руху точки позначається лінією зі стрілкою на кінці, як це зображено на графіках, див. рис. 4–6. Вираз $x \succ y$ означає домінування x над y .

Після того, як наступний стан ϕ_i обраний, час очікування в поточному стані ϕ_k вважається рівним ζ_{ik} з функції

єю розподілу $F_{ki}(t)$ або, відповідно, з щільністю імовірності $w_{ki}(t)$. Цей процес надалі необмежено триває. Кожен раз незалежно вибираються наступний стан і час очікування. Якщо через $\Psi(t)$ позначити стан системи, в якому вона знаходиться в момент часу t , то отриманий випадковий процес є напівмарківським. При заданому початковому стані подальшу поведінку процесу повністю визначається матрицею ймовірностей переходу $\{\rho_{ik}\}$, $i, k = 1, N$, і матрицею функцій розподілу $\{F_{ki}(t)\}$.

Висновки та напрямки подальших досліджень. На закінчення треба ще раз підкреслити, що силова протидія атакам і вторгненням в комп'ютерні мережі вимагає відволікання великих ресурсів і завершується успіхом лише в рідкісних випадках, наприклад, для випадку "розподілена атака - розподілений захист". У той же час розроблена в рамках загальної теорії конфлікту стратегія відволікання ресурсів противника на псевдосервіси може дати вигоду навіть в разі переваги ресурсів атаки над ресурсами захисту.

Великий інтерес представляють розгалужені ескалаційні пастки з імітацією активної боротьби з супротивником шляхом стохастичного управління еволюцією вразливостей псевдосервісів (медових пасток). Ці задачі планується дослідити у подальшому.

Список літератури

1. <http://www.iso27000.ru/standarty/bsi-it-baseline-protection-manual>
2. Секреты и ложь. Безопасность данных в цифровом мире / Б. Шнайер. – СПб.: Питер, 2003. – 368 с

3. Spitzner L. Honeypots: tracking hackers. Addison-Wesley, 2002. – 480 pp.
4. Виноградов Н. А. Управление псевдосервисами в защищенных информационных системах на основе теории конфликта // Н. А. Виноградов, Г. В. Данилина, Д. В. Домарев, Я. В. Милокум – Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2014. – №6(34). – с. 5 - 12.
5. <https://www.projecthoneypot.org/>
6. www.honeynet.org
7. Котенко И. В., Степашкин М. В. Обманные системы для защиты информационных ресурсов в компьютерных сетях // Труды СПИИРАН, Вып. 2, т. 1. – СПб.: СПИИРАН, 2004. с/ 211 - 230
8. Язов Ю. К., Сердечный А. Л., Шаров И. А. Методический подход к оцениванию эффективности ложных информационных систем // Вопросы кибербезопасности №1(2), 2014. – с. 55 – 60.
9. Дружинин В.В., Конторов Д.С., Конторов М.Д. Введение в теорию конфликта. – М.: Радио и связь, 1989. – 288 с.
10. Дынкин Е.Б., Юшкевич А.А. Управляемые марковские процессы и их приложения. – М.: Наука, 1975. – 338 с.
11. Эльсгольц Л.Э., Норкин С.Б. Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом. – М.: Наука, 1971. – 296 с.
12. Казаков И.Е. Статистическая динамика систем с переменной структурой. – М.: Наука, 1977. – 416 с.
13. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ. Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 488 с.
14. Draper N.R. Applied regression analysis, 3rd Ed. / N.R. Draper, H. Smith. - John Wiley & Sons, 1998. - 736 p.
15. Mosteller F. Data Analysis and Regression: A Second Course in Statistics / F. Mosteller, J. W. Tukey. - Pearson, 1977. - 588 p.

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 658.38:621.1

В.Г. НАЛИВАЙКО, канд. техн. наук, доц., О.Г. МОВЧАН, канд. хим. наук, доц.,
К.В. ЛОСЬЕВ, ассист., Криворожский национальный университет

ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ РЕМОНТНЫХ РАБОТ НА УМЕНЬШЕНИЕ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

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

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

Научная новизна. Исследования с использованием математико-статистического метода экспертных оценок позволят быстро определить первоочередность видов профилактических ремонтных работ на предприятиях теплоснабжения и предупредить аварийные ситуации.

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

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

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

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

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-121-126

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

Работы проводимые в отопительный период как правило вызывают возрастание материальных и трудовых затрат, заболеваемости и травматичности среди рабочего персонала теплогенерирующих предприятий. Организационные работы включают: составление графиков ремонтов, заявки на землеройную технику, подготовку ремонтных бригад, а также вывоз демонтированных труб с мест ремонта, доставка и монтаж новых, время демонтажа. Согласование и утверждение этих графиков с вышестоящими структурными подразделениями предприятия, выполнение гидравлических испытаний трубопроводов перед сдачей их в эксплуатацию. Важным фактором в организации ремонтных работ являются разработка и согласование параметров теплоносителя при транспортировании его по замененным и незаменным трубам. Если нагрузки будут не согласованы, то это может привести к серьезным последствиям.

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

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

Таблица 1

Анкета

Факторы

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

Примечание	Должность	Ф.И.О	Дата	Подпись

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

N - наименее предпочтительный. Если все n оценок различны, то соответствующие числа натурального ряда есть ранги оценок i -го эксперта.

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

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

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

где X_i - вариант ответа; n - количество экспертов.

Стандартное отклонение рассчитывается согласно формуле

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_A)^2}{n - 1}. \quad (2)$$

Степень соответствия мнений экспертов определяется коэффициентом вариации [1]

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

где S - среднеквадратическое отклонение; $\bar{x}_A$ - средняя статистическая величина.

Результаты экспертной обработки представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты экспертной обработки

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

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

На рис.1 приведены кривые, характеризующие количество замененных труб при порывах в зависимости от диаметра и времени года их ремонта [4].

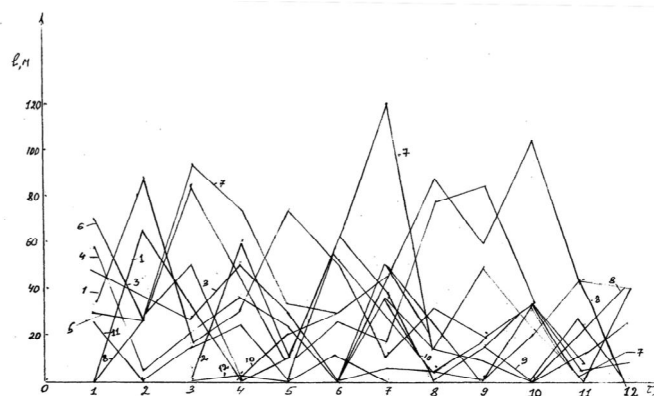


Рис. 1. Залежність кількості заміненних труб на участках от диаметра труб и времени года за период 2003-2005 гг.: 1 - $d=50$ мм; 2 - $d=60$ мм; 3 - $d=70$ мм; 4 - $d=80$ мм; 5 - $d=100$ мм; 6 - $d=150$ мм; 7 - $d=200$ мм; 8 - $d=250$ мм; 9 - $d=300$ мм; 10 - $d=400$ мм; 11 - $d=500$ мм; 12 - $d=600$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

Максимальное количество порывов и заміненних труб соответствует следующим периодам и месяцам года: осенньо-зимний период (октябрь-февраль) и весенний период (март-апрель). Это можно объяснить тем, что в эти периоды года значительно увеличивается тепловая нагрузка на теплопроводы.

Ремонтные работы, проводимые по восстановлению теплопроводов, в осенньо-зимний период связаны с холодными метеорологическими условиями, а следовательно, и временем нахождения рабочих на ремонтных работах [12].

Обслуживающий персонал по ремонту труб находится на открытом пространстве и подвергается воздействию метеоусловий. Согласно Украинскому центру радиологии и контроля загрязнения природной среды БРиС Укр. ЦРКЗПС и СНИП [2] средняя температура в холодный период составляет $-8,5$ °С. В этот период преобладают ветры северного и северо-восточного направлений, скорость которых достигает 15-22 м/с [5]. Рабочие, находящиеся на открытых площадках по ликвидации порывов и замене труб, переохлаждаются и подвергаются различного рода заболеваниям. Количество заболевших трудящихся предприятий ПАТ «Криворожская теплоцентральный» и КПТС «Криворожтеплосеть» по месяцам года за период 2013-2015 гг. приведены в табл. 3.

Таблица 3

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

Год	Месяц											
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
2013	133	154	189	123	119	77	154	90	142	157	111	119
2014	94	65	53	83	51	44	40	33	57	53	78	102
2015	64	87	151	79	59	58	57	59	68	91	72	127

Максимальное количество заболеваний приходится на периоды года, которые совпадают со временем ликвидации порывов и заменой труб (см. рис. 1 и табл. 3).

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

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

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

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

Таблиця 4

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

Специальность	Условия работы (сложные, опасные, вредные)	Кол-во баллов	
		Вид работ	
		ремонт	эксплуатация
Газосварщик			
Электросварщик			
Слесарь по ремонту теплового оборудования			
Слесарь-трассовик			
Работник КИП			
Электрик			
Инженер-наладчик			
Оператор котельной			

Примечание	Должность	Ф.И.О	Дата	Подпись

Обработка результатов анкетирования осуществлена методом экспертных оценок [1].
Результаты анализа полученных данных приведены в табл. 5.

Таблиця 5

Оценка наиболее травмоопасных специальностей предприятий теплоснабжения

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

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

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

Персонал (операторы котельных, инженеры КИП) подвергаются травмоопасным условиям при розжиге котлов, регулировке аппаратуры связанной с поддержанием необходимых параметров теплоносителя [9]. Эта травмоопасность особенно проявляется при работе данных работников в ночное время, поэтому плановыми работами для уменьшения травмоопасности необходимо исключить эти работы в ночное время [8]. Работа газосварщиков, электросварщиков часто осуществляется в закрытых помещениях в ограниченном пространстве (тепловые камеры, топки котлов) где концентрация вредных выбросов (CO_2 , угарный газ, сажа) превышают нормативы и также практически отсутствует хорошая вентиляция, поэтому ликвидация аварий осуществляется в сложных технологических условиях [7]. Часто газосварщики, электросварщики выполняют

аварийные работы совмещая их с плановыми а это приводит к тому, что работники этих профессий выполняют работы с дополнительной физической нагрузкой, что приводит к возникновению травмоопасных условий [10]. Кроме того работники этой профессии по технологическим условиям выполняют работы на высоте, что дополнительно связано с метеоусловиями и в совокупности воздействие вышеуказанных факторов может привести к ухудшению состояния их здоровья. Таким образом, учитывая вышеприведенное, профессии газосварщика и электросварщика относят к наиболее травмоопасным а условия их работы считаются вредными.

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

Список литературы

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

Рукопись поступила в редакцию 05.04.2019

УДК 614.841.47

Н.Ю. ШВАГЕР, д-р техн. наук, проф., Т.А. КОМІСАРЕНКО,
О.В. НЕСТЕРЕНКО, кандидати техн. наук, доценти, Криворізький національний університет

РОЗГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ГАСІННЯ ШАХТНИХ ПОЖЕЖ

Мета. Метою даної роботи є аналіз способів та засобів припинення пожежі в гірничих виробках. Для цього необхідно проаналізувати активні, комбіновані способи гасіння пожеж, дати огляд первинних засобів пожежогасіння.

Методи дослідження. Наведено основні способи і засоби гасіння пожеж, проведено аналіз їх використання. Для успішного забезпечення пожежної безпеки необхідно використовувати організаційно-технічні заходи та проти-пожежний захист, з цією метою наведено аналіз способів і засобів гасіння пожеж.

Всі способи і тактичні прийоми гасіння пожеж зводяться до припинення доступу кисню до палаючих матеріалів і зниження їх температури, а при підземній пожежі - ще й до зниження температури оточуючих порід до меж, що виключають повторне загоряння. Особливо важливе значення набуває виконання умови пожежної безпеки при формуванні знань в галузі пожежної безпеки, тому дана стаття може бути використана в навчальному процесі при викладенні пожежної безпеки у вищих навчальних закладах.

Наукова новизна. Актуальність наукового дослідження визначається тим, чи його результати сприятимуть вирішенню конкретних практичних завдань при гасінні підземних рудникових пожеж.

Практична значимість. Проведений аналіз способів та засобів припинення пожежі в гірничих виробках дозволяє швидко орієнтуватися при виборі способів та засобів припинення пожежі.

Результати. Забезпечення пожежної безпеки на підприємствах гірничорудної галузі потребує уваги і впровадження організаційно-технічних заходів та протипожежного захисту на основі використання новітніх досліджень з нанотехнології, наприклад, наночастки з глини та цементу, які володіють властивістю налипання на предмети і перегороджують доступ кисню до поверхонь, що горять, а також використання роботів, що самостійно потрапляють до місця пожежі, долаючи вентиляційні канали, завали і задимлені проходи, через такі перешкоди людина пробратися не здатна. Роботи як і раніше контролюються пожежними, але ризики отримання травм при цьому зводяться до нуля для співробітників.

Ключові слова: пожежа, гірничі виробки, пожежна безпека, перемичка, первинні засоби пожежогасіння.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-126-132

Постановка проблеми та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Дослідження процесу горіння у гірничих виробках актуалізує широке коло проблем, пов'язаних із пізнанням загальних закономірностей гасіння пожежі, що є важливою проблемою в рамках сучасних моделей гасіння пожеж. Фахівцями Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту здійснено аналіз масиву карток обліку пожеж за 12 місяців 2018 року, які надійшли від територіальних органів ДСНС України, та вивчено проблемні питання стану з пожежами та їх наслідками в регіонах та загалом у державі. За результатами проведеного моніторингу стану з пожежами у 2018 році виявлено тенденції, що вказують на збільшення кількості загиблих унаслідок пожеж і травмованих на них людей, матеріальних втрат за загального зменшення кількості пожеж порівняно з 2017 роком.

За 12 місяців 2018 року в Україні зареєстровано 78 608 пожеж. Порівняно з аналогічним періодом 2017 року спостерігається зменшення кількості пожеж на 5,4 %. Кількість людей, загиблих унаслідок пожеж, збільшилась на 7,5%, травмованих на пожежах збільшилась на 2,8 %. Прямі збитки від пожеж збільшились на 7,8 %, побічні – на 4,5 %, на 2,0 % більше знищено та пошкоджено техніки, на 2,0 % більше знищено та пошкоджено будівель і споруд. Матеріальні втрати від пожеж склали 8 млрд 279 млн 119 тис. грн (з них прямі збитки становлять 2 млрд 198 млн 358 тис. грн, а побічні – 6 млрд 80 млн 761 тис. грн). Щоденні матеріальні втрати від пожеж становили близько 22,7 млн грн [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пріоритетні позиції в галузі теорії і практики боротьби з раптовими викидами займає наукова школа доктора технічних наук, лауреата Державної премії України В.І. Ніколіна. Дослідження, проведені під його керівництвом, практично вирішили проблему газодинамічних явищ при видобутку вугілля й суттєво розширили уявлення про фізичні процеси в масиві. У школі проф. Ю.Ф. Булгакова виконано низку фундаментальних досліджень у галузі створення ефективних засобів і способів гасіння підземних пожеж. Під його керівництвом виконано цикл експериментальних робіт, проведених у вибуховій штольні для вивчення особливостей поширення енергії вибухів гірничими виробками і розробки засобів їх локалізації. Наукова школа доктора технічних наук, академіка Академії інженерних наук України М.П. Зборщика відіграє авангардну роль у розробці технологій охорони гірничих виробок на великих глибинах. Проф. В.Я. Балтайтис був досвідченим викладачем і науковцем, фахівцем у галузі пожежної профілактики й гасіння пожеж.

Постановка завдання. Метою даної статті є аналіз способів та засобів припинення пожежі в гірничих виробках. Для цього необхідно проаналізувати активні, комбіновані способи гасіння пожеж, дати огляд первинних засобів пожежогасіння.

Викладення основного матеріалу. Основою пожежогасіння є примусове припинення горіння. На практиці використовують декілька способів гасіння пожежі:

спосіб охолодження (горіння речовини можливе тільки тоді, коли температура її поверхні перевищує температуру її займання, тобто якщо охолодити цю поверхню до більш низької температури, то горіння припиниться);

спосіб зниження концентрації (при зменшенні вмісту кисню у зоні горіння менше 14%, горіння припиняється. Це досягається введенням у зону горіння інертних газів (діоксид карбону, азот, водяна пара) або розведенням кисню продуктами горіння в ізольованих приміщеннях;

спосіб ізоляції (при припиненні надходження повітря, а з ним і кисню до речовини, яка горить. Для цього застосовують різні ізолювальні вогнегасні речовини: хімічну піну, порошки і т.ін.;

спосіб хімічного гальмування швидкості горіння (в зону горіння вводять такі хімічні сполуки, що здатні припиняти хімічну екзотермічну реакцію, якою і є горіння, наприклад, різні галогенопохідні: бромистий етил та метил, фреони і т.ін.;

спосіб механічного гасіння полум'я. На полум'я спрямовують дуже потужний струмінь води, порошку або газу. Можливе також застосування вибуху, коли полум'я збивається ударною хвилею.

Тактичні дії підрозділів ДВГРС по гасінню пожеж визначаються характером аварійної обстановки. Умови, в яких доводиться діяти підрозділам гірничорятувальників, надзвичайно різноманітні, способи гасіння розробляються для найбільш типових аварійних ситуацій. При цьому вивчаються і аналізуються особливості кожного випадку гасіння пожежі і узагальнюється досвід дій підрозділів ДВГРС. Всі способи і тактичні прийоми гасіння пожеж зводяться до припинення доступу кисню до палаючих матеріалів і зниження їх температури, а при підземній пожежі - ще й до зниження температури оточуючих порід до меж, що виключають повторне загоряння.

Активні способи полягають у безпосередньому впливі на вогнище пожежі вогнетривкими речовинами як безпосередньо в місці його утворення, так і при виїмці палаючих мас з вогнища пожежі [2, 3]. Безпосередній вплив на вогнище пожежі здійснюється з боку надходження струменя повітря прямим або дистанційним (з безпечної відстані) впливом. Активні способи зазвичай застосовують в початковий період розвитку пожежі, а також у всіх випадках, коли вогнище доступне для безпосереднього гасіння і для цього є в достатній кількості сили і засобів пожежогасіння.

Спосіб ізоляції полягає в припиненні припливу свіжого повітря до осередку пожежі шляхом зведення в гірських виробках ізоляційних перемичок, сорочок, покриттів і ін. До ізоляції вдаються у випадках, коли вогнище пожежі знаходиться в місці, недоступному для безпосереднього впливу на нього вогнетривкими речовинами, а також у тих випадках, коли при бурхливому розвитку пожежі на місці немає достатніх сил і засобів для безпосереднього впливу на осередок. Ізоляція як спосіб гасіння пожежі є крайнім заходом, оскільки в умовах порушених гірських порід і високої газопроникності ізоляційних споруд практично не можна досягти повної герметизації дільниці, терміни охолодження гірського масиву довготривалі, на газових шахтах ізоляція пожежі небезпечна, внаслідок можливості вибуху метану і пожежних газів. Тому ізоляція пожежі, як правило, є попереднім етапом комбінованих способів гасіння пожежі, коли ступінь герметизації ізолюваного простору відіграє меншу роль, ніж тільки при ізоляції.

Комбіновані способи полягають у поєднанні попередньої ізоляції вогнища пожежі з подальшим гасінням його активним способом. Ці способи застосовуються в тих випадках, коли пожежа набула подальшого розповсюдження на великій площі, підступи до нього утруднені через високу температуру і на місці відсутня достатня кількість вогнегасних засобів. Для припинення розвитку пожежі зводять на доступній від вогнища відстані парні тимчасові ізоляційні перемички з отворами, що відкривають або закривають пожежні двері. Після часткового загасання пожежі, послідовно шляхом шлюзування через отвори парних перемичок зводять нові перемички, зменшуючи обсяг ізолюваних виробок, і ведуть гасіння пожежі по частинах підготовленими до цього часу вогнетривкими засобами. До комбінованих способів також слід віднести заповнення ізолюваної пожежної дільниці інертними газами або шляхом замулювання та ін. Гасіння пожеж затопленням водою є крайнім заходом і виправдано при малих обсягах затоплення, зведення невеликого числа водотривких перемичок, відсутності загрози втрати обладнання та ін.

Вогнегасні речовини, що використовуються в даний час для гасіння пожеж на вугільних шахтах, по фазовому стану поділяються на рідини (вода, замулювальна пульпа); сипучі речовини (хімічно активні - вогнегасні порошки та інертні - пісок і інертний пил); піни (хімічні, повітряно-механічні, інертні газомеханічні); інертні гази та аерозолі (діоксид вуглецю, азот, парогазова суміш і ін.). Відповідно, технічні засоби пожежогасіння поділяються на засоби водяного, порошкового, пінного, інертизації середовища і комбінованого гасіння.

Слід також розрізняти засоби пожежогасіння експлуатовані шахтою, які знаходяться тільки на оснащенні ДВГРС. Вода, володіючи високими вогнетривкими властивостями і можливістю впливу на осередок пожежі у вигляді компактного струменя, розпиленому стані, в складі парогазової суміші і через інші переваги набула найширшого розповсюдження через засоби водяного пожежогасіння. Вогнегасні властивості води полягають в наступному: за рахунок напору водяного струменя механічно збивається полум'я з палаючих предметів; висока теплоємність води дозволяє охолоджувати поверхню, що горить нижче температури, необхідної для підтримки горіння; змочуючи суміжні з палаючою поверхнею ділянки та предмети, вода запобігає поширенню горіння; утворюється водяна пара, що зменшує вміст кисню в зоні горіння. Воду не можна гасити електрообладнання, що знаходиться під напругою, речовини, що взаємодіють з водою (карбід, лужні метали та ін.). Неефективне гасіння палаючих легкозаймистих рідин і палаючого метану. При гасінні сильно розвинених пожеж не з периферійних ділянок з відносно низькими значеннями температури, а з епіцентру горіння виникає небезпека вибуху, так як при температурі 1000-1200 °C молекули води розкладаються на атомарний водень і кисень з утворенням вибухонебезпечного перекису водню H_2O_2 .

Пожежогасний ефект вогнегасних порошків забезпечується за рахунок ізоляції твердих поверхонь, що горять і рідин від доступу кисню внаслідок утворення в'язкої полімерної плівки на межі поділу фаз; припинення ланцюгових реакцій горіння через інгібуючий вплив на активні центри полум'я; охолодження зони горіння через витрати теплоти на нагрівання частинок порошку, їх плавлення, часткове випаровування і хімічне розкладання. У засобах пожежогасіння застосовують порошки ПСБ, П-1А (розмір часток 80-90 мк), тонкодисперсний порошок П-2АП (розмір часток 40-50 мк) і субтонкодисперсний порошок П-2АП (розмір часток 5-10 мкм). Засоби порошкового гасіння застосовуються при горінні дерев'яного кріплення, конвеєрної стрічки, легкозаймистих і горючих рідин, вугілля, метану та електрообладнання, що знаходиться під напругою. Обмеженням застосування засобів порошкового гасіння є недостатня ефективність гасіння твердих матеріалів, зокрема, конвеєрних стрічок, що знаходяться в стадії тління.

Піни за способом утворення і складу газової фази поділяються на повітряно-механічні та інертні хімічні, азотно-механічні та ін. [4,5]. Піни характеризуються показниками кратності і стійкості. Кратність піни є кількість обсягів піни, що утворюється з одиниці об'єму розчину піноутворювача. Розрізняють піну низької (50), середньої (50-300) і високої (300-1000) кратності. Стійкість піни для цілей пожежогасіння зазвичай не перевищує 2 год і залежить від змісту піноутворювача, температури стінок виробки, жорсткості води, швидкості повітря та ін. Піна блокує доступ повітря і надає охолоджуючий ефект на палаючі матеріали і стінки гірських виробок. На відміну від води піною ефективно можна гасити легкозаймисті рідини. Зважаючи на високу проникаючу здатність піна може подаватися в важкодоступні місця. За характером впливу піну можна віднести до вогнегасних речовин дистанційного об'ємного гасіння. Через електропровідність піни забороняється її застосування для гасіння палаючого електрообладнання під напругою. Хімічні піни утворюються при взаємодії розчинів кислот і лугів у присутності піноутворювача. Хімічна піна складається з безлічі дрібних бульбашок, заповнених інертним вуглекислим газом, і має наступний склад: 80 % - CO_2 , 19 % - H_2O , 0,3 % - піноутворююча речовина.

Утворення повітряно-механічної піни здійснюється в піногенераторі шляхом продувки через сітку повітря (стисненого, за допомогою вентилятора або за рахунок ежекції) і дрібно розпорошеного розчину піноутворювача ПО-1. Розмір бульбашок (дисперсність піни) залежить від розмірів осередків сітки, числа сіток і швидкості повітря. Недоліком повітряно-механічної піни є те, що бульбашки піни є носіями кисню, що підтримує горіння. Тому для прискорення гасіння важкодоступних вогнищ горіння застосовують газомеханічну інертну піну, що отримується при використанні газоподібного або рідкого азоту за допомогою розпилювача спеціальних пристроїв. Інертні гази та аерозолі, до числа яких відносяться вуглекислий газ, азот, парогазова суміш і ін., потрапляючи в зону горіння, знижують концентрацію кисню. При гасінні підземних пожеж інертизація середовища виробок дозволяє вирішити два завдання: запобігти утворенню вибухонебезпечних концентрацій метаноповітряної суміші і знизити активність горіння аж до його припинення. Небезпека вибуху усувається при зниженні об'ємної частки кисню в повітрі до 10%, полум'яне горіння припиняється при 8%, а тління - при 2% кисню.

Інертизація може бути об'ємною і локальною. При об'ємній інертизації повітря всіх виробок аварійної дільниці заміщається інертним газом. При локальній - інертний газ подається безпосередньо в зону горіння без зміни стану провітрювання аварійної дільниці.

За результатами досліджень [5] при комбінованому застосуванні вогнегасних речовин певного складу в суміші або при їх роздільному впливі на вогнище горіння досягається значно вища ефективність гасіння пожежі, а для окремих сполучень речовин розширюється сфера застосування за класами пожеж створених на їх основі засобів пожежогасіння. У створених засобах пожежогасіння комбінованої дії застосовують аерозольно-порошкові і аерозольно-пінні склади і роздільну подачу до осередку пожежі порошку і повітряно-механічної піни. Інертний аерозоль є продуктом згоряння газогенеруючого заряду і в якості вогнегасної речовини в аерозольно-порошкових засобах виконує також функцію енергоносія порошку, а в аерозольно-пінних - енергоносія піни.

У порошково-пінних засобах пожежогасіння енергоносієм і утворювачем піни є стиснене повітря. Засоби гасіння пожеж водою, перш за все, відносяться до первинних засобів пожежогасіння. Для підключення засобів водяного пожежогасіння до пожежних кранів на пожежно-зрошувальному трубопроводі застосовують пожежні напірні рукава і рукавні переходи з пожежними гайками Богданова. У практиці пожежогасіння застосовують прогумовані, лляні нормальні і лляні посилені пожежні рукави діаметром 51, 66 і 77 мм стандартною довжиною 20 м. Пожежні рукави розраховані на робоче гідралічний тиск до 1,6 МПа (16 кгс / см²), що і визначає вимога до верхнього значення нормованого тиску на виході з пожежного крана - 1,5 МПа (15 кгс/см²). Пожежні напірні рукава застосовуються також для подачі інертного газу і піноутворюючого розчину до осередку пожежі, а також гіпсового розчину при дистанційному зведенні перемички.

Шахтні перемички - споруди в гірничих виробках, що штучно зводяться для регулювання вентиляційних потоків, ізоляції виробок від газів, води і пожеж, затримання закладочних матеріалів, а також попередження руйнівної дії ударної повітряної хвилі вибуху (рис. 1). Протипожежні перемички повинні встановлюватися поблизу вогнища пожежі. Конструкція перемичок повинна забезпечувати надійну герметизацію пожежної дільниці. Гасіння горючих рідин в гірничих виробках проводиться розпиленою водою, вогнегасним порошком, повітряно-механічною або інертною піною.

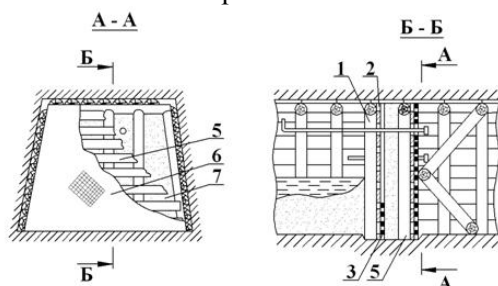


Рис. 1. Фільтруючі комплектні перемички полегшеного типу: 1 - стійка; 2 - обрізні дошки; 3 - металева сітка; 4 - стійка; 5 - дошки; 6 - сітка; 7 - фільтруючий матеріал

При гасінні пожежі водою для запобігання рясного пароутворення струмів води слід направляти не в центр вогнища, а по периферії для поступового зниження температури вогнища пожежі. Допускається подача води в осередок пожежі з встановлених стаціонарно водорозбризкувачів, стовбурів пожежних ручних, за умови відсутності людей поблизу вогнища пожежі і на вихідному струмені повітря.

Для одночасного впливу на осередки пожежі, що поширилася по гірничих виробках слід застосовувати методи дистанційного об'ємного гасіння вогнегасним порошком, повітряно-механічною або інертною піною.

При поширенні пожежі по гірничій виробці в сторону сполучення з гірничою виробкою, по якій надходить свіжий струмінь повітря, для запобігання виникнення вторинних вогнищ пожежі і охолодження газоподібних продуктів горіння, повинна встановлюватися водяна завіса.

Спосіб гасіння пожежі в тупиковій виробці заснований на вітрильній перемичці в гірничій виробці і дистанційній подачі заповнювача в ізований простір. Заповнювач - інертна піна працює як завіса [6] (рис. 2).

Для попередження розповсюдження пожежі по пустотах за кріпленням гірничих виробок слід видалити з пустот горючі матеріали, встановлювати водяні або пінні завіси, що перекривають повністю площу поперечного перерізу гірничої виробки, включаючи порожнечі за кріпленням, а також заповнювати порожнечі пінобетоном, гіпсом та іншими негорючими матеріалами [7] (рис. 3).

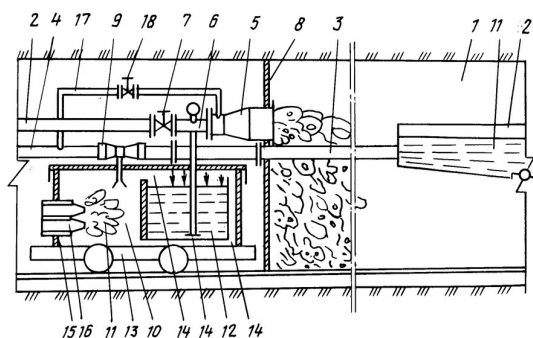


Рис. 2. Водяна завіса: 1- гірничі виробки; 2- пожежно-зрошувальний трубопровід з розімкненим його гілкою; 3, 4 - трубопровід подачі інертного газу (азоту); 5 - піногенератор; 6 - автоматичний дозатор піноутворювача; 7 - кран регулювання подачі води; 8 - вітрильна перемичка; 9 - газовий ежектор; 10 - камера утворення вогнегасної аерозолі; 11 - ємність; 12 - підігрів піноутворювача, встановлених на загальній транспортній платформі; 13 і з'єднаних між собою газоходами (димоходом) 14. Камера 10 забезпечена магазином 15 для установки генераторів 16 отримання вогнегасної аерозолі

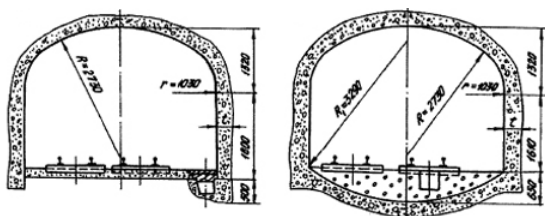


Рис. 3. Кріплення з негорючих матеріалів (бетон)

відкрити на пожежно-зрошувальному трубопроводі кінцевий пожежний кран.

При високій температурі повітря в підземних гірничих виробках на підступах до осередку пожежі для захисту людей від впливу високої температури повітря повинні встановлюватися тимчасові перемички, що швидко будуються. При неможливості гасіння пожежі активним способом пожежна ділянка підлягає ізоляції. Протягом всього часу робіт по ізоляції необхідно контролювати кількість повітря, що надходить на цю ділянку і до вогнищ горіння, вміст газів у вихідних струменях і в місцях, що характеризують стан пожежі, а також контролювати температуру повітря [8,9].

Роботи по ізоляції пожежної ділянки вважаються закінченими, коли в прилеглих гірничих виробках концентрація оксиду вуглецю встановиться нижче гранично (максимально) допустимих концентрацій, відновлений нормальний режим провітрювання і температура повітря не перевищує звичайні її показники.

Забезпечення пожежної безпеки на підприємствах гірничорудної галузі потребує уваги і впровадження організаційно-технічних заходів та протипожежного захисту на основі використання новітніх досліджень з нанотехнології, наприклад, наночастки з глини та цементу, які володіють властивістю налипання на предмети і перегороджують доступ кисню до поверхонь, що горять [10,11], а також використання роботів, що самостійно потрапляють до місця пожежі, долаючи по шляху вентиляційні канали, завали і задимлені проходи, через такі перешкоди людина пробратися не здатна.

Висновки і перспективи подальших досліджень. На підставі аналізу технічного рівня сучасних коштів і способів гасіння пожеж в шахтах, небезпечних по газу і пилу, виявлені перспективні напрямки досліджень. Роботи як і раніше контролюються пожежними, але ризики отримання травм при цьому зводяться до нуля для співробітників.

Гасіння пожежі в похилій гірничій виробці з кутом нахилу до 20° включно із застосуванням стовбурів пожежних ручних допускається з вищого горизонту, якщо провітрювання гірничої виробки спадний і тільки при відсутності небезпеки перекидання вентиляційного струменя під дією теплової депресії.

При гасінні пожеж у гірничих виробках із стрічковими конвеєрами, незалежно від розмірів і характеру пожежі, повинні вживатися заходи щодо локалізації пожежі (установка водяних завес, прибирання горючих елементів кріплення, розрив стрічки), доставці до місця пожежі і введенню в дію потужних засобів пожежогасіння (піногенераторні установки, порошкові установки об'ємного гасіння).

При гасінні або локалізації пожеж в вертикальних гірничих виробках з висхідним струменем повітря розпиленою водою необхідно контролювати напрям і швидкість вентиляційного струменя, що надходить. При появі ознак перекидання подача води в гірничу виробку повинна бути зменшена.

При гасінні пожежі в тупикових гірничих виробках роботи по охолодженню і тимчасовому кріпленню гірничих виробок слід вести окремими ділянками шляхом встановлення тимчасових перемичок, що швидко монтуються. При необхідності відходу відділення з вибою тупикової гірничої виробки необхідно

Список літератури

1. Статистика пожеж у 2018 році. Звіт Український науково-дослідний інститут цивільного захисту (УкрН-ДПЗ). <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/STATISTIKA-POZNEZH.html>
2. Прогнозирование опасных факторов пожара. Практикум: методические указания к выполнению практических работ/Тимофеева С.С., Рожков Д.М., Малов В.В.– Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013.–37с.
3. Правила пожежної безпеки України: НАПБ А.01.001-2014 – [Чинний від 2016-09-30]. – К.: Міністерство внутрішніх справ України, 2014. – 91 с. – (Нормативний акт з пожежної безпеки).
4. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. — М.: Асе. «Пожнаука», 2004. — Ч. I. с. 110.
5. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ – Изд. официальное. – М.: ИПК Из-во стандартов, 1989.– 100 с. – (Система стандартов безопасности труда).
6. Будыкина Т.А, Будыкина К.Ю. Прогрессивные технологии и средства тушения пожаров на нефтебазах/Вестник РУДН, Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017, т.25, №1, с.132-144.
7. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ – Издание официальное. – М.: ИПК Из-во стандартов, 1996.– 79 с. – (Система стандартов безопасности труда).
8. Трофимов В.О., Булгаков Ю. Ф., Кавера О. Л., Харьковский М.В. Аерологія шахтних вентиляційних мереж. Норд-Прес, 2009.
9. Мельников Н.И. Проведение и крепление горных выработок - М., Недра, 1988, 336с.
10. Устав ВГСЧ Глава 8. Тушение подземных пожаров. miningwiki.
11. ГОСТ Р 57052-2016. Оборудование горно-шахтное. Автоматические установки пожаротушения (для подземных выработок). Общие технические требования и методы испытаний.

Рукопис подано до редакції 02.04.2019

УДК 621.791.927.55

В.П. НЕЧАЄВ, А.О. РЯЗАНЦЕВ, кандидати техн. наук, доценти
Криворізький національний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОВОГО ЗМІЦНЕННЯ ВЕЛИКОМОДУЛЬНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Мета. Метою даної роботи є вдосконалення технології виробництва гірничих машин, а саме – розробка й оптимізація параметрів процесу поверхневого зміцнення великомодульних зубчастих коліс для підвищення зносостійкості, довговічності передач приводів рудорозмельних млинів.

Методи дослідження. Дослідження властивостей сталей після поверхневої плазмової обробки забезпечено розробленою методикою розрахунків оптимальних режимів плазмової обробки зразків, що заснована на врахуванні теплофізичних параметрів плазмового струменя. Для оптимізації параметрів поверхневого плазмового зміцнення за економічним критерієм застосовувалось математичне моделювання, організовано активний експеримент шляхом використання послідовного симплекс-методу, для вивчення області оптимуму поверхні відгуку була використана нелінійна стохастична модель.

Наукова новизна. Встановлено аналітичний зв'язок та виявлено вплив параметрів режиму поверхневого плазмового зміцнення на відносний термін експлуатації великомодульних зубчастих коліс. Це дозволило отримати оптимальні співвідношення параметрів процесу, які забезпечують найкращі показники, щодо зносостійкості робочих поверхонь великомодульних зубчастих передач.

Практична значимість. В умовах поверхневого плазмового зміцнення ефективність плазмової дуги, як джерела нагрівання, суттєво залежить від співвідношення розмірів теплового джерела, його швидкості й теплової потужності; раціональним слід уважати таке їх співвідношення, при якому температура поверхні, що нагрівається, на задній границі плями нагрівання досягає, але не перевищує температури плавлення для даного матеріалу. Розроблено основні вимоги і принципи вибору оптимальних технологічних параметрів поверхневого плазмового зміцнення для підвищення зносостійкості великомодульних зубчастих коліс у залежності від умов їх експлуатації.

Результати. В результаті математичного моделювання виявлено вплив параметрів режиму поверхневого плазмового зміцнення на відносний термін експлуатації великомодульних зубчастих коліс x . Проведено оптимізацію параметрів процесу підвищення зносостійкості зубчастих передач, шляхом математичного моделювання процесів поверхневого плазмового зміцнення зубчастих коліс. Отримано оптимальні співвідношення величини швидкості руху джерела нагрівання й сили струму плазмової дуги ($V_{opt} = 350$ мм/хв, $I_{opt} = 245$ А), що дозволило встановити збільшення строку експлуатації зубчастих коліс.

Ключові слова: поверхнєве плазмове зміцнення, швидкорухоме джерело нагрівання, зносостійкість, оптимізація процесу, математичне моделювання.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-132-137

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. У сучасному гірничозбагачувальному виробництві широко використовуються рудорозмельні млини, для подрібнення гірничої маси. Великомодульні зубчасті передачі є одними із найбільш навантажених і відповідальних елементів млина, це визначає надійність і довговічність обладнання в цілому. Ремонт і заміна великомодульних зубчастих передач гірничих машин вимагає виведення з експлуатації основного виробничого обладнання й зупинки технологічної лінії, що веде до значних втрат. Аналіз пошкоджуваності зубчастих коліс показує, що їх передчасний вихід з ладу обумовлений головним чином процесами руйнування в поверхневих шарах зубів.

Одним із найбільш перспективних напрямків розвитку сучасного виробництва є впровадження інтенсивних технологій поверхневого зміцнення великомодульних зубчастих передач з використанням концентрованих джерел енергії. Особливі переваги стосовно масивних деталей має поверхнєве плазмове зміцнення (ППЗ), завдяки високій тепловій потужності та можливості одержання зміцнених шарів значної товщини (до 5 мм). Проте, властивості зміцнених шарів після поверхневого плазмове-дугового зміцнення досліджені недостатньо, а також не запропоновані раціональні шляхи зручного регулювання питомої потужності в плямі нагріву плазмової дуги, як наслідок, немає можливості використати велику електричну потужність, необхідну для підвищення ефективності нагрівання. Відсутні науково обґрунтовані принципи вибору режимів і технологій зміцнення великомодульних зубчастих шестірень з урахуванням умов їх навантаження. Тому підвищення зносостійкості відкритих великомодульних зубчастих передач рудорозмельних млинів, шляхом поверхневого плазмове-дугового зміцнення, має важливе практичне значення і є актуальним науковим завданням.

Аналіз досліджень та публікацій. Перспективним напрямком підвищення зносостійкості робочих поверхонь зубів великомодульних зубчастих коліс є зміцнювальна термічна обробка робочої поверхні концентрованим потоком енергії, а саме плазмовим струменем. Питання досліджень та розробок технологій плазмовевого зміцнення висвітлені в роботах Лещинського Л.К., Токмакова В.П., Григор'янца А.Г., Крапошина В.С., Анякіна М.І., Бердникова А.А., Сомотугіна С.С., Рахімянова Х.М. та ін. [1-9]. Однак тут необхідно враховувати, що технології поверхневого зміцнення мають свої специфічні особливості і їх результативність залежить від врахування різноманітних факторів, що відображують як саму деталь, її хімічний склад, габарити, геометричну форму, вихідний стан поверхні, так і умови експлуатації. Проведений аналіз показує перспективи плазмовевого нагрівання, але немає відомостей і розробок, які можна застосувати до великомодульних зубчастих передач.

Широке промислове застосування більшості відомих способів зміцнювальної обробки концентрованим потоком енергії стримується високою вартістю й складністю обладнання, його недостатньою надійністю й продуктивністю, необхідністю використання вакууму, спеціальних приміщень із особливими вимогами, потребою у кваліфікованому обслуговуванні, високими експлуатаційними витратами. У цих умовах, для збільшення експлуатаційного ресурсу швидкозношуваних деталей раціональним за параметрами універсальності, доступності, екологічності й економічної ефективності представляється спосіб поверхневої термообробки плазмовею дугою [10, 11]. Не змінюючи параметрів шорсткості поверхні, така термообробка легко вбудовується в технологічний процес підготовки й ремонту деталей, будучи фінішною операцією, маловитратна, досить продуктивна й дозволяє ефективно збільшити їх експлуатаційну стійкість. Внаслідок чого авторами пропонується застосовувати поверхнєве плазмове зміцнення профілю зубчастого колеса для підвищення контактної міцності робочих поверхонь зубів.

Постановка задачі. Оскільки процес ППЗ по суті дослідженню взагалі не піддавалась, то немає й технологічних основ зміцнення з нагріванням цим тепловим джерелом. Не створено рекомендацій зі стратегії пошуку технологічних режимів обробки плазмовею дугою для одержання заданих результатів зміцнення.

Таким чином, метою даної роботи є вдосконалення технології виробництва гірничих машин, а саме – розробка й оптимізація параметрів процесу поверхневого зміцнення великомодульних зубчастих коліс для підвищення зносостійкості, довговічності передач приводів рудорозмельних млинів. Сформульована мета роботи обумовила необхідність розв'язання такої задачі, як оптимізація технологічних параметрів режиму поверхневого плазмове-дугового зміцнення

шляхом математичного моделювання з метою виявлення їх впливу на відносний термін експлуатації великомодульних зубчастих

Викладення матеріалу та результати. Оптимізація технологічних параметрів процесу ППЗ зубчастих коліс пов'язана, насамперед, з визначенням оптимального терміну служби відкритих зубчастих передач за економічними показниками. У якості критерію оптимізації виступають сумарні середні річні втрати, пов'язані з експлуатацією, ремонтом і урахуванням вартості зубчастих коліс

Проведено оптимізацію параметрів плазмового зміцнення для досягнення оптимального строку терміну зубчастої передачі за економічними показниками.

У якості критерію оптимізації виступають сумарні середні річні втрати, пов'язані з експлуатацією, ремонтом і урахуванням вартості зубчастих коліс

$$\hat{C} = \frac{k}{x} \hat{C}_0 + x^{n-1}; \quad (x = \frac{T}{T_0}), \quad (1)$$

де $\hat{C} = \frac{C}{C_B}$; $\hat{C}_0 = \frac{C_0}{C_B}$; C_0 – середні річні втрати внаслідок ремонтних простоїв і оплатою на відновлення функціонування, грн; C_B – вартість зубчастого колеса, виготовленого з базового матеріалу, грн; k – середня кількість відмов у роботі зубчастих коліс, рік⁻¹; T_0 – середній строк експлуатації зубчастого колеса, виготовленого з базового матеріалу, рік; T – середній строк експлуатації зубчастого колеса, що пройшов ППЗ, рік; n – показник, що характеризує збільшення вартості зубчастого колеса, що пройшов ППЗ ($n > 1$).

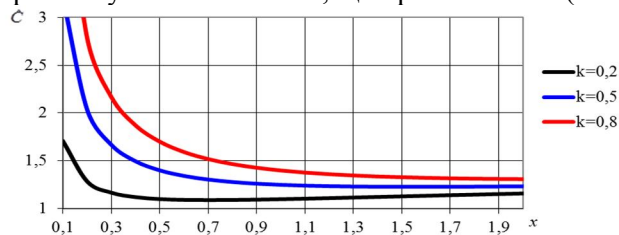


Рис. 1. Залежність відносних сумарних річних втрат від відносного строку експлуатації зубчастих коліс, що пройшли ППЗ ($\hat{C}_0 = 0,5$, $n = 1,15$)

Розв'язок завдання оптимізації параметрів процесу ППЗ зубчастих коліс зводиться до мінімізації функції (1)

$$x_0 = \sqrt[n]{\frac{k\hat{C}_0}{n-1}}. \quad (2)$$

Стаціонарна точка (2) є точкою мінімуму функції (1). Мінімальне значення функції (1) знаходиться шляхом підстановки значення (2), отримуємо

$$\hat{C}_{\min} = k \cdot n \cdot \left(\frac{\hat{C}_0}{n-1} \right)^{\frac{n-1}{n}}. \quad (3)$$

Аналіз графіків розрахованих за виразом 5, наведених на рис. 1, показує, що існує оптимальний час експлуатації зубчастого колеса, що пройшов ППЗ. Крім того, при збільшенні відносного числа відмов у роботі зубчастого колеса зростають, як відносні сумарні річні втрати, так і оптимальний строк експлуатації зубчастих коліс, що пройшли ППЗ. А аналіз графіків, розрахованих за формулою (3) та наведених на рис. 2, показує, що залежність мінімальних відносних середніх річних втрат від показника, що характеризує ріст вартості зубчастого колеса, що пройшов ППЗ, носить екстремальний характер.

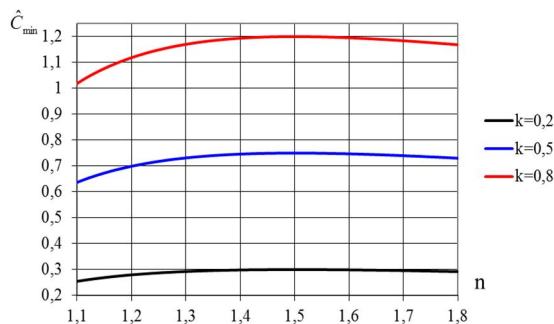


Рис. 2. Залежність мінімальних відносних середніх річних втрат від показника, що характеризує ріст вартості зубчастого колеса, що пройшов ППЗ ($\hat{C}_0 = 0,5$)

При розв'язку поставленого завдання оптимізації проводився експериментальний пошук [12, 13, 16] області оптимуму шляхом варіювання двома факторами – V і I . Для пошуку області оптимуму шляхом мінімізації нев'язки рівняння $\sqrt[n]{\frac{k\hat{C}_0}{n-1}} = \varphi(V; I)$ застосовувався симплекс-

метод. При розв'язку завдання на площині симплексом є трикутник. Для розв'язку завдання були обрані параметри $n=1,15$, $k=0,5$, $\hat{C}_0=0,5$. Тоді

$$x_{opt} = 1,15 \sqrt{\frac{0,5 \cdot 0,5}{1,15 - 1}} = 1,56. \quad (4)$$

За допомогою симплекс-трикутника було визначено в межах обраних інтервалів варіювання оптимальну область, яка відповідає режиму обробки з $V=393$ мм/хв, і $I=250$ А.

Для вивчення області оптимуму поверхні відгуку була використана нелінійна стохастична модель, описувана поліномом другого порядку. Застосування композиційного ротатбельного планування експерименту дало можливість синтезувати математичну модель [14].

Попередні дослідження показали, що для побудови математичної моделі з метою знаходження оптимуму розв'язуваного завдання доцільно застосувати центральне композиційне ротатбельне планування другого порядку [15]. У цьому випадку математична модель має вигляд:

$$\hat{x} = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_1^2 + a_4 X_2^2 + a_5 X_1 X_2, \quad (5)$$

де $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ – коефіцієнти рівняння регресії.

Наступний статистичний аналіз результатів моделювання дозволив на основі критерію Стюдента відсіяти незначущі коефіцієнти математичної моделі, а також установити її адекватність шляхом застосування критерію Фішера. Після чого рівняння регресії отримало наступний вигляд:

$$\hat{x} = 1,103 - 0,065 X_1 + 0,39 X_2 + 0,036 X_2^2. \quad (6)$$

Згідно з рівнянням регресії (10), ізолінії задаються рівняннями

$$0,036 X_2^2 - 0,065 X_1 + 0,39 X_2 = C_k - 1,103; \quad (k = 1; 2; \dots), \quad (7)$$

де C_k – параметр, який визначає розташування ізоліній.

Беручи до уваги, що в рівняння (7) тільки один фактор входить у другий ступені, можна зробити висновок, що ізолінія є параболою. Вершина параболи перебуває в точці $M_0 (0,723 - 15,385 \cdot C_k; -5,417)$.

Аналіз ізоліній, наведених на рис.3, показує, що ці ізолінії є параболою. При збільшенні параметра x (рівного C_k) відбувається зсув вершини параболи вліво вздовж осі X_1 . Необхідно підкреслити, що через область, у якій будувалась математична модель, проходить тільки верхня гілка параболи.

Аналіз розв'язку, представленого у вигляді точок, розташованих на оптимальній ізолінії, між точками $M_0 (-1; 0,925)$ й $M_1 (0,468; 1)$, дозволяє зробити висновок про існування безлічі оптимальних розв'язків. Безліч розв'язків може бути записано у вигляді лінійної комбінації координат кінців цього відрізка прямої, тобто

$$\begin{cases} X_1 = -1 + 1,468 \cdot t \\ X_2 = 0,925 + 0,075 \cdot t \end{cases}, \quad (0 \leq t \leq 1). \quad (8)$$

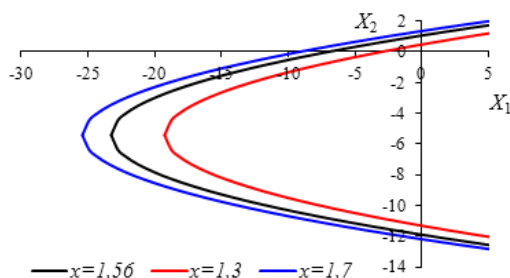


Рис. 3. Ізолінії поверхні відгуку

Зроблено перехід та знайдено оптимальні розв'язки в дійсних одиницях

$$\begin{cases} V = 350 + 73,4 \cdot t \\ I = 246,25 + 3,75 \cdot t \end{cases}, \quad (0 \leq t \leq 1). \quad (9)$$

Для знаходження єдиного оптимального розв'язку був запропонований економічний критерій, що визначає сумарні витрати, пов'язані з величинами швидкості руху джерела нагрівання й сили струму плазмової дуги. Мінімізація цього критерію в границях оптимальної ізолінії дала можливість визначити найкращі величини

швидкості руху джерела нагрівання й сили струму плазмової дуги для забезпечення оптимального строку експлуатації зубчастого колеса, поверхня якого піддана ППЗ. Оптимальне завдання

$$L = c_1 \cdot V + c_2 \cdot I \rightarrow \min_{V, I}, \quad (10)$$

де c, c_1 – питомі витрати, пов'язані зі застосуванням для реалізації процесу ППЗ переміщення джерела нагрівання й струму плазмової дуги, відповідно

$$t=0, \begin{cases} V_0 = 350 \\ I_0 = 246,25 \end{cases}; \hat{L}_0 = \hat{c}_1 \cdot 350 + 246,25; t=1; \begin{cases} V_1 = 423,4 \\ I_1 = 250 \end{cases}; \hat{L}_1 = \hat{c}_1 \cdot 423,4 + 250. \quad (11)$$

Аналіз графіків, наведених на рис. 4, показує, що мінімальні економічні втрати мають місце при $t = 0$, тобто на лівому кінці оптимальної ізолінії (9).

Таким чином, оптимальними значеннями факторів при проведенні процесу ППЗ є $V_{opt} = 350$ мм/хв, $I_{opt} = 245$ А.

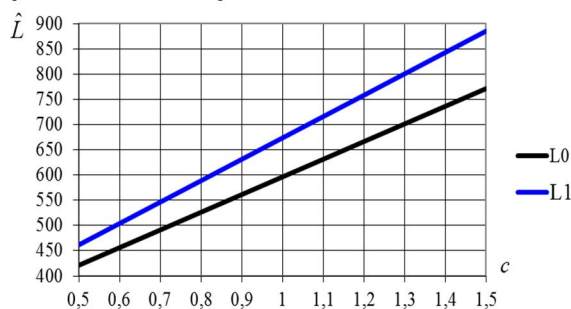


Рис. 4. Залежність мінімальних економічних втрат від відношення питомих вартостей

Отримані значення факторів визначають оптимальні величини швидкості переміщення джерела нагрівання й струму плазмової дуги, які забезпечують оптимальний строк експлуатації зубчастих коліс, підданих ППЗ.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Досліджено вплив технологічних параметрів даного процесу на зносостійкість

і механізми зношування поверхневого шару, а саме сила струму (I) та швидкість руху (V) джерела нагрівання. В умовах ППЗ ефективність плазмової дуги, як джерела нагрівання, суттєво залежить від співвідношення розмірів теплового джерела, його швидкості й теплової потужності; раціональним слід уважати таке їх співвідношення, при якому температура поверхні, що нагрівається, на задній границі плями нагрівання досягає, але не перевищує температури плавлення для даного матеріалу.

Аналіз особливостей експлуатації відкритих зубчастих передач дозволив зробити висновок про доцільність використання економічних показників для визначення оптимального строку їх служби.

Мінімізація економічного критерію, пов'язаного з питомими витратами на технічне обслуговування й ремонт із урахуванням вартості виготовлення зубчастих коліс при використанні ППЗ, дало можливість оцінити оптимальний час експлуатації відкритих зубчастих передач.

З метою дослідження впливу на процес ППЗ зубчастих коліс швидкості руху джерела нагрівання й сили струму плазмової дуги був організований активний експеримент шляхом використання послідовного симплекс-методу, який дав можливість виділити область оптимуму поверхні відгуку.

Для вивчення області оптимуму поверхні відгуку була використана нелінійна стохастична модель, описувана поліномом другого порядку. Застосування композиційного рототабельного планування експерименту дало можливість синтезувати математичну модель. Наступний статистичний аналіз результатів моделювання дозволив на основі критерію Стюдента відсіяти незначущі коефіцієнти математичної моделі, а також установити її адекватність шляхом застосування критерію Фішера.

Детальне дослідження знайденої області оптимуму шляхом побудови ізоліній указало на наявність безлічі розв'язків, розташованих на оптимальній ізолінії. Для знаходження єдиного оптимального розв'язку був запропонований економічний критерій, що визначає сумарні витрати, пов'язані з величинами швидкості руху джерела нагрівання й сили струму плазмової дуги. Мінімізація цього критерію в границях оптимальної ізолінії дала можливість визначити найкращі величини швидкості руху джерела нагрівання й сили струму плазмової дуги для забезпечення оптимального строку експлуатації зубчастого колеса, поверхня якого піддана ППЗ.

В результаті математичного моделювання виявлено вплив параметрів режиму поверхневого плазмово-дугового зміцнення на відносний термін експлуатації великомодульних зубчастих коліс x . Це дозволило отримати оптимальні співвідношення параметрів процесу, які забезпечують найкращі показники, щодо зносостійкості робочих поверхонь великомодульних зубчастих передач ($V_{opt} = 350$ мм/хв, $I_{opt} = 245$ А).

Список литературы

1. Самогугин С.С., Кавальчук А.В., Новохацкая О.П. и др. Упрочнение инструмента из быстрорежущих сталей обработкой плазменной струей //Металловедение и термическая обработка металлов. - 1994. - №2. - С. 5-8.
2. Лещинский Л.К., Самогугин С.С., Пирч И.И. и др. Плазменное поверхностное упрочнение. - Киев: Техника, 1990, -109 с.
3. Лещинский Л.К., Самогугин С.С., Пирч И.И. и др. Влияние поверхностного упрочнения плазменной струей на характер разрушения углеродистых сталей // Физика и химия обработки металлов. - 1985. - ЖЗ. - С. 100 -106.
4. Гречнева М.В., Токмаков В.П. Плазменное упрочнение металлов в жидких средах // Сварочное производство. - 1992. - №7. - С. 8-10.
5. Самогугин С.С., Пуйко А.В., Соляник Н.Х. и др. Эксплуатационные свойства инструментальных сталей после комплексного объемно- поверхностного упрочнения //Металловедение и термическая обработка металлов. - 1997. - №5. - С. 2-6.
6. Домбровский Ю.М., Бровер А.В. Экспериментальная установка для плазменного поверхностного упрочнения деталей машин. - М., 1996. -5 с. - Деп. в ВИНТИ, 22.11.96, №3387-В96.
7. Короткое В.А., Трошин О.В., Бердников А.А. Плазменная закалка сканируемой дугой без оплавления поверхности //Физика и химия обработки материалов. - 1995. - №2. - С. 101-106.
8. Transformation hardening of steel using high-energy electron beams / Elmer J. W., Newton M.A., Smith A.C. // Weld. J. - 1994. - 73, №12. - P. 291-299.
9. Rolf Roggen Durcissement Super ficial par Plasma des aciers au carbone des fontes// Rev. Metallurgie. - 1979, - У.16. №7. - P. 532-537.
10. Шатерин М.А., Коротких М.Т., Нечаев В.П. Плазмотрон для плазменно-механической обработки. - «Сварочное производство», 1986, №8, - с.27, 28.
11. 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.
12. Попов Ю.П. Вычислительный эксперимент / Ю.П. Попов, А.А. Самарский. - М.: Знание, 1983. - 64с.
13. Статистические методы в инженерных исследованиях (лабораторный практикум). Учебн. пособие / Бородюк В.П., Вошинин А.П. и др.; под ред. Круга Г.К. - М.: Высш. школа, 1983. - 216с.
14. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий./ Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. - М.: Наука, 1976. - 275с.
15. Головина Л.И. Линейная алгебра и некоторые её приложения / Л.И.Головина. - М.: Наука, 1979. - 392 с.
16. Сидняев Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных. / Н.И. Сидняев.- М.: Юрайт, 2012.-400с.

Рукопис подано до редакції 03.04.2019

УДК 622.807

О.Є. ЛАПШИН, О.О. ЛАПШИН, доктори техн. наук
Криворізький національний університет

ОХОРОНА РУДНИКОВОЇ АТМОСФЕРИ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ В ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ ШАХТ

Мета. Метою даної роботи є розробка способу охорони рудникової атмосфери від забруднення в гірничих виробках шахт

Методи. Застосовувався комплексний метод дослідження, який передбачав теоретичні дослідження процесів очищення повітря в гірничих виробках, експериментальні дослідження параметрів гідравлічної зависі за різних значень тиску води в підвідній магістралі та промислові випробування ефективності очищення вентиляційних викидів.

Наукова новизна. Розроблено спосіб охорони рудникової атмосфери від забруднення шляхом очищення вентиляційних викидів за допомогою гідравлічних зависі високого тиску, який дозволяє знизити вміст шкідливих домішок в атмосфері шахт і кар'єрів до санітарних норм під час ведіння технологічних процесів при відкрито-підземному способі видобування залізної руди.

Практична значимість. На підставі проведених випробувань в підземних виробках надані практичні рекомендації щодо охорони рудникової атмосфери від забруднення шляхом очищення вентиляційних викидів за допомогою гідравлічних зависі та застосовувати головні вентиляторні установки для провітрювання кар'єрів і шахт, що забезпечує поліпшення умов праці та підвищення безпеки при видобуванні залізної руди.

Результати. Видобування залізної руди в кар'єрах і глибоких шахтах супроводжується забрудненням рудникової атмосфери пилом і шкідливими газами. Перебування працюючих у забрудненій атмосфері призводить до професійних захворювань на пиловий бронхіт. Незважаючи на заходи, що впроваджуються, рівень професійних захворювань досі залишається високим. Існуючі засоби пилогазоподавлення не забезпечують уловлення найбільш небезпечних дрібнодисперсних часток пилу (менше 10 мкм) і зниження концентрацій шкідливих газів. Охорона рудникової

вої атмосфери від забруднення відбувається шляхом очищення вентиляційних викидів за допомогою високонапорного зрошення утвореного гідравлічними завісами в гірничих виробках.

На підставі проведених експериментальних випробувань установлені параметри гідравлічних завіс в підземних виробках серед яких: щільність зрошення, напруженість електростатичного поля водного аерозоля, дисперсний склад крапель води, далекобійність та оптимальний тиск води в підвідному трубопроводі.

Надані практичні рекомендації щодо застосування гідравлічних завіс для охорони рудникової атмосфери від забруднення при відкрито- підземному способі видобування залізної руди. Результати промислових випробувань гідравлічної завіси в умовах гірничої виробки засвідчили її ефективність щодо очищення вентиляційних викидів від шкідливих домішок та можливість застосування її при відкрито-підземному видобуванні залізної руди.

Ключові слова: атмосфера, забруднення, пил, гази, вода, зрошення, гідравлічна завіса.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-137-143

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Актуальність досліджуваної проблеми полягає у тому, що розробка залізних руд відкрито-підземним способом значно ускладнює захист рудникової атмосфери від забруднення і вентиляцію підземних гірничих виробок та кар'єрного простору. Наявність провалів, незаповнених відпрацьованих порожнин, зон обвалень обтяжують процеси вентиляції, вона стає важко керованою. В наслідок цього не забезпечуються належні умови для відведення шкідливих речовин, утворених внаслідок здійснення вибухових робіт, вони потрапляють у робочий простір, що може призвести до отруєнь. Ця проблема є складною та потребує наукових підходів до її розв'язання, вона тісно пов'язана з науковими і практичними завданнями у галузі комбінованої розробки залізорудних родовищ.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанням захисту рудникової атмосфери від забруднення при веденні технологічних процесів у гірничих виробках присвячені роботи відомих учених, серед яких праці Черних А. Д., Гагауза Ф. Г., Гого В. Б., Д'якова В. В., Лапшина О. О., Росі Б. Д., Слюсаренка В. Г., Фролова А. В., Янова А. П., Ярембаша І. Ф. та ін., де підіймаються теоретичні та прикладні питання взаємодії пилових частинок з дисперговою водою, нейтралізації шкідливих газів хімічними речовинами і видалення продуктів вибуху засобами вентиляції. Аналіз наукових досліджень свідчить про те, що спосіб очищення повітря зрошенням є найменш складним і не потребує великих витрат. Його реалізація передбачає використання зрошувальних пристроїв, що відрізняються технічними параметрами і режимами роботи, наприклад, форсунок і туман утворювачі, ефективність яких у середньому становить 70-80%.

У практиці боротьби із пилом при видобуванні корисних копалин підземним способом переважає застосування типового зрошення за допомогою гідравлічних форсунок. При цьому, як правило, досягти зниження запиленості атмосфери у виробках до ГДК майже не вдається. Свідченням цього є високі концентрації пилу під час ведення вибухових робіт: у горизонтальних виробках в межах 62...500 мг/м³, а у вертикальних – 10...10,5 мг/м³ за результатами досліджень різних авторів. Вивчення робіт, пов'язаних з очищенням рудникового повітря забрудненого шкідливими домішками, дає підстави вважати, що найбільш складним процесом є зниження концентрації отруйних газів. Для цього здебільшого використовується вода, або розчини хімічних речовин, наприклад, поверхнево-активні речовини (ПАР).

Випробування, проведені на Березовському руднику показали, що серед численного складу диспергуючих засобів найбільш ефективними є зрошувачі ОК-1, ОЗ-1, ОЗ-2 і туман утворювачі ТК-1, ТЗ-1, які серійно випускаються заводом гірничорятувального обладнання. Незважаючи на всі позитивні якості ці зрошувачі і туман утворювачі мають невелику далекобійність до 3 м, що є недостатнім для умов гірничих виробок. Підтвердженням цього є невисока ефективність знепилення – 28,9%, а зниження концентрації двоокису азоту 19,6%, що не забезпечує досягнення концентрацій встановлених санітарними нормами. Зменшення вмісту оксиду вуглецю цими пристроями до рівня допустимих значень також не досягається.

Постановка задачі. Важливим завданням в умовах розробки родовищ відкрито-підземним способом є захист рудникової атмосфери від забруднення та створення безпечних і нешкідливих умов праці у кар'єрах і гірничих виробках шахт шляхом очищення повітря від пилу і шкідливих газів за допомогою гідравлічних завіс високого тиску.

Викладання матеріалу та результатів. Досвід розробки родовищ відкрито-підземним способом дозволив виявити ряд позитивних факторів, серед яких: використання буронавантажувального і транспортного обладнання на відкритих і підземних роботах; застосуван-

ня розкривних порід кар'єрів для закладання відпрацьованих підземних камер; здійснення провітрювання кар'єрів і шахт з використанням існуючих вентиляційних виробок і головних вентиляційних установок тощо. Попри наявні переваги існує проблема потрапляння шкідливих газів і пилу, що виникають переважно при здійсненні підривних робіт, у підземні гірничі виробки за умов застосування всмоктувального способу провітрювання шахт [1]. Для вирішення цієї проблеми у статті запропоновано захист рудникової атмосфери від забруднення шляхом очищення повітря за допомогою гідравлічних завіс високого тиску обладнаних у підземних виробках. При цьому головні вентиляторні установки (ГВУ), в залежності від дії природної тяги і умов здійснення вибухових робіт: у кар'єрі, або в шахті, передбачається вмикати на нагнітання, або на всмоктування відповідно.

Ефективне провітрювання зони підземних робіт і кар'єру при роботі вентиляторної установки на нагнітання (у теплий період року) повітря в шахту здійснюється за умови що перемички на вентиляційному горизонті закриті, а перемички на робочому горизонті відкриті. У цей період року свіже повітря надходить з головних виробок в зону гірничих робіт, провітрює виробки і очисні блоки, а потім відбувається його очищення від шкідливих газів і пилу в камері зрошення, яка обладнана у гірничий виробці, що сполучається з кар'єрним простором. Після цього очищене повітря вентиляційною виробкою надходить у кар'єр і провітрює його простір [2, 3].

В період роботи вентиляторної установки на всмоктування (у холодний період року) свіже повітря надходить у кар'єр, провітрює його простір, а потім рухаючись вентиляційною виробкою потрапляє у зрошувальну камеру, де очищується від пилу і газу. Після цього очищене повітря надходить у зону гірничих робіт, провітрює гірничі виробки і очисні блоки. Регулювання кількості повітря, що надходить або видається в гірничі виробки здійснюється за допомогою автоматичної перемичок. При нагнітанні і при всмоктуванні повітря вентиляторною установкою природна тяга діє в узгодженому режимі з ГВУ.

У практиці боротьби із пилом при видобуванні корисних копалин підземним способом переважає застосування типового зрошення за допомогою гідравлічних форсунок. При цьому, як правило, досягти зниження запиленості атмосфери у виробках до ГДК майже не вдається. Свідченням цього є високі концентрації пилу під час ведення вибухових робіт: у горизонтальних виробках в межах 62...500 мг/м³, у вертикальних – 10...10,5 мг/м³, оксиду вуглецю від 0,0032 до 0,072%, а оксидів азоту від 0,0019 до 0,031%. Під час вибуху шпурів у вибіях тупикових виробок створюються умови для адсорбції шкідливих газів частинками пилу [6]. В табл. 1 наведено дані про вміст шкідливих газів, адсорбованих на пилові при веденні технологічних процесів, пов'язаних з підривними роботами (ВР) на шахтах Кривбасу протягом останніх 10 років.

Дані показують, що пил, який утворився при вибухових роботах, містить адсорбовані оксид вуглецю до 0,0078 мг і діоксид азоту до 0,22 мг. Під час прибирання гірської маси адсорбовані гази разом із пилом надходять в атмосферу гірничих виробок і кар'єрів та являють собою додаткові джерела, що впливають на розвиток пилового бронхіту у шахтарів.

Таблиця 1

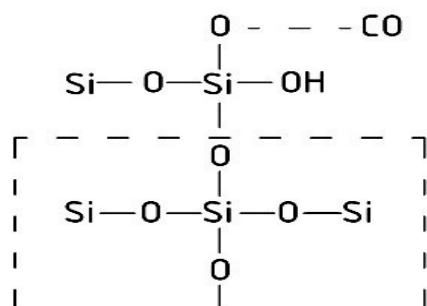
Вміст адсорбованих шкідливих газів на частках пилу

Види технологічних процесів	Місце відбирання проб	Вміст адсорбованих газів на поверхні пилу, мг/г	
		CO	NO + NO ₂
Вибухові роботи в підготовчих виробках	На поверхні руди	0,0042	0,1341
	В середині руди	0,0057	0,1134
Вибухові роботи в блоках	В руді при випуску	0,0036	0,0223
	На поверхні стінок виробки	0,0018	0,1342
	В атмосфері виробок випуску	0,0017	0,2176
Розвантаження руди з вагонів на перекидачу	На поверхні руди в підземному бункері	0,0019	0,0093

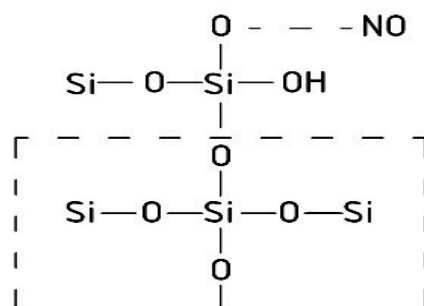
Механізм адсорбції газів поверхнею рудникового пилу полягає у тому, що при руйнуванні гірської породи вибухом миттєво підвищується тиск, концентрація і температура газів. У той же час поверхнева енергія зруйнованої гірської маси прагне до зменшення. При цьому на її поверхні відбувається адсорбція газів, результатом якої є довільний перерозподіл компонентів системи між поверхневим шаром адсорбента (пилу) і газовим середовищем (оксиди вуглецю і

азоту). При цьому на поверхні пилових часток утворюється комплекс шкідливих газів, причому це утворення відбувається допоки не буде досягнена рівновага. За нашими поглядами та припущеннями на поверхні пилових часток відбувається як фізична так і хімічна адсорбції. Структурні схеми взаємодії при адсорбції оксидів вуглецю "а" і азоту "б" можливо записати так:

а)



б)



Адсорбовані пилом шкідливі гази мають дуже сильний зв'язок із поверхнею через силанольні групи, як видно зі схем наведених вище, тому їх десорбція в природних умовах відбувається дуже повільно. Наприклад, через 200 діб десорбується тільки 60 % діоксиду азоту [6]. Кількість адсорбованих газів у значній мірі визначається загальною площиною адсорбції то б то загальною площиною пилових часток, які утворюються при здійсненні вибуху у вибої виробки. При цьому загальна площа пилових часток визначається їх дисперсним складом. Усереднені дані дисперсного складу пилу у відбитій гірській масі вибоїв різних гірничих виробок представлені у табл. 2. Як видно із таблиці у безпосередній близькості від вибою, фракції пилу менше 10 мкм складають 10-40%, а на відстані від вибою 15-20 м їх вміст досягає 60-90%, що свідчить про інтенсивне осадження крупнодисперсних частинок. Таким чином, у зоні викиду осідає пил переважно розміром більше 10 мкм, більш дрібні фракції пилу виносяться з вибоїв ударною хвилею і рухом вентиляційного струменя.

Таблиця 2

Дисперсний склад пилу в зоні відкиду тупикових виробок шахт

Найменування шахти	Найменування виробки	Відстань від вибою, м	Вміст часток пилу, %	
			< 10 мкм	>10 мкм
ім. Орджонікідзе	Штрек висячого боку гор. 527 м	15	50-60	40-50
«Родина»	Штрек відкотний гор. 1315 м	20	80-90	10-20
«Жовтнева»	Орт-заїзд 30 осі гор. 1060 м	5	10-20	80-90
ім. Фрунзе	Орт-заїзд 151 осі гор. 1060 м	10	30-40	60-70
«Жовтнева»	Орт-заїзд 72 осі гор. 965 м	15	50-60	40-50

Отже, дослідження дисперсного складу пилу та результати адсорбції на поверхні пилових часток шкідливих газів, свідчать що звичайне зрошення забрудненого повітря буде неефективним засобом його очищення і необхідно застосовувати додаткові можливості для його підсилення. Серед таких засобів нами розглядається можливість використання для очищення рудникового повітря електростатичних сил. Так, з метеорології відомо, що коагуляційна здатність дощових крапель підвищується, якщо вони несуть на собі електричний заряд. Дослідження свідчать, що за діаметру крапель аерозолі менше 5 мкм і крупних заряджених крапель менше 40 мкм, коефіцієнт захвату дрібних крапель може бути підвищений в декілька разів у порівнянні з незарядженими. Ці висновки очевидно будуть справедливі і для часток пилу при взаємодії їх з краплями факелу форсунки. Відомо, що особливу складність представляє уловлення і осадження дрібнодисперсного аерозолі, а електричний водний аерозоль дозволив збільшити ефективність пилоподавлення дрібнодисперсного вугільного пилу. Збільшення електрзарядженості аерозолі до 900 В/м дозволило підвищити ефективність дрібнодисперсного пилу до 96,7 %. Дослідженнями також передбачалося визначення величини електричного заряду частинок пилу (табл. 3). З часом величина заряду знижувалася

Таблиця 3

Електричні заряди пилу крупністю <40 мкм

Найменування шахт	Величини зарядів пилу, е.з.			
	свіжий пил	після 2-х годин	після 5-х годин	після 24-х годин
«Тернівська» аглоруда, гематит	748-762	251-233	120-110	104-90
«Гвардійська» аглоруда, гематит	875-863	274-250	134-123	117-113
«Ювілейна» аглоруда, гематит	964-881	280-261	142-128	114-98
ім. Фрунзе аглоруда, гематит	676-615	258-234	128-119	110-102
«Зоря» мартен	768-648	228-203	137-125	121-117
«Родина» аглоруда, гематит	725-670	281-254	142-133	123-114
ім. Орджонікідзе магнетит, кварцити	763-670	248-231	123-113	105-98

Результати досліджень стану забруднення атмосфери свідчать про те, що протягом регламентованого проміжку часу провітрювання тупикових виробок, концентрації пилу і шкідливих газів у більшості випадків перевищують допустимі значення. У табл. 4 наведені деякі випадки отруєння працюючих шкідливими газами в гірничих виробках.

Таблиця 4

Випадки отруєння працюючих шкідливими газами після вибухових робіт у виробках

Дата отруєння і найменування шахти	Обставини і місце отруєння	Причина отруєння
09.2000 р. ш. «Тернівська»	Смертельний випадок отруєння бурильника шкідливими газами після підірвних робіт в не провітреної тупиковій заходці	Перебування робочого після вибуху у виробці не обладнаній засобами провітрювання і пілогазовиведення
10.2001 р. ш. «Експлуатаційна» ЗЖРК	Груповий смертельний випадок отруєння шкідливими газами після вибуху зам. начальника і гірничого майстра в не провітреному вибії	Перебування людей після вибуху в не провітреної виробці
01.2002 р. ш. «Гвардійська»	Груповий смертельний випадок отруєння шкідливими газами після вибуху газами зам. начальника и горнодобрового в очисному блоці	Перебування людей після вибуху в не провітреному очисному блоці
13. 02. 2019 р. ш. "Ювілейна" ПАТ «Суха Балка»	Груповий смертельний випадок отруєння прохідника і гірничого майстра після вибуху у висхідному	Перебування людей після вибуху в непровітреному висхідному

Вивчення робіт, пов'язаних з очищенням рудникового повітря забрудненого шкідливими домішками, дає підстави вважати, що найбільш складним процесом є зниження концентрацій отруйних газів.

Підвищення ефективності охорони рудникового повітря шляхом зрошення його диспергованою водою пропонується здійснювати за допомогою гідравлічних завіс з використанням високого гідростатичного тиску води.

Основними параметрами даного способу є: дисперсність крапель і відносна швидкість їх польоту, щільність водного аерозолу, розміри зони зрошення, ступінь турбулізації забрудненого потоку, напрямок руху забрудненого повітря і струменя гідравлічної завіси. Величини оптимальних параметрів зрошення коливаються у широких межах і залежать від механізму уловлювання пилу. Ефективність очищення повітря шляхом його зрошення за умов дотримання оптимальних параметрів процесу може становити 90-99%.

Гідравлічна завіса діє наступним чином. Вода під високим тиском (1,0-1,5 МПа) подається до форсунок з водопроводу, який обладнано електричним клапаном. Форсунки розташовані і гідравлічно з'єднані з системою трубопроводів в гірничій виробці. За допомогою форсунок вода диспергується і змішується з повітрям у виробці з утворенням водоповітряної суміші. Струм суміші розширюється виходить у виробку у вигляді гідравлічної завіси. Кількість води, що надходить у завісу регулюється за допомогою електричного клапану. Корпус завіси закріплений у виробці з можливістю спрямування струменю попутно, назустріч або під кутом до забрудненого повітря.

У процесі досліджень впливу різних факторів на фізичні параметри струменів при диспергуванні рідини за допомогою форсунок було встановлено, що водний аерозоль утворює електростатичне поле негативної полярності [5]. Ступінь електрозарядженості факелу диспергованої води залежить від тиску води. Доведено, що зі збільшенням тиску води в трубопроводі до 1 МПа досягається збільшення значення негативної напруженості електростатичного поля до 500-600 В/м і зменшення середнього діаметру крапель з 300 до 150 мкм (рис. 1 а, б).

Наявність електростатичного поля негативної напруженості у факелі аерозолі, утворюваного зрошувачем, а також змінення її величини від тиску води у трубопроводі дає підстави вважати, що у цьому факелі мають місце енергетичні процеси, обумовлені кількістю крапель, їх середнім діаметром, швидкістю руху, фізико-хімічними властивостями поверхневого шару і відстанню між ними у повітрі. Параметри цих процесів впливають на здатність коагуляції часток пилу з краплями води та адсорбцію шкідливих газів.

За результатами випробувань отримані наступні параметри: діаметр крапель води від 1 мкм до 100 мкм; далекобійність понад 20 м [6].

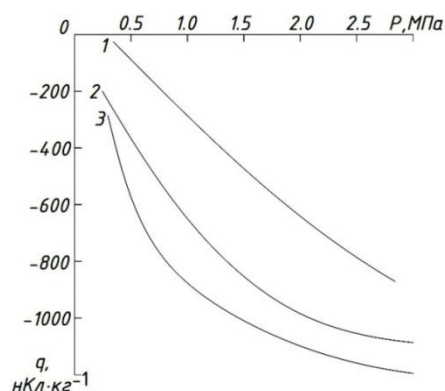


Рис. 1 а. Графіки залежності негативної напруженості електростатичного поля водного аерозолі від тиску води і типу зрошувача: 1 – ЗФ 3, 3-75; 2 – КФ 5, 0-75; 3 – КФ 2, 2-15

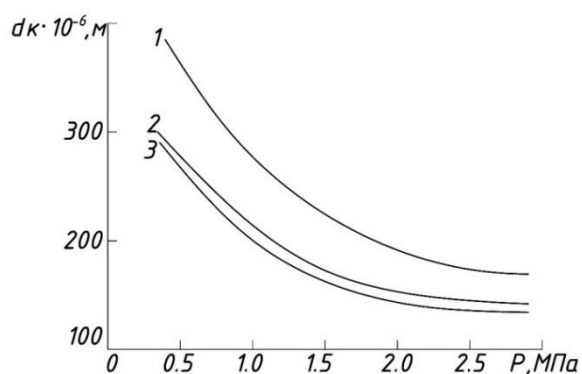


Рис. 1 б. Графіки залежності діаметру крапель водного аерозолі від тиску води і типу зрошувача: 1 – ЗФ 3, 3-75; 2 – КФ 5, 0-75; 3 – КФ 2, 2-15

Диспергування води в гідравлічних завісах утворює водний аерозоль, який формує електростатичне поле негативної напруженості. У межах гідравлічної завіси утворюється «загороджувальна стінка» забрудненому повітрю, що дозволяє здійснити його зрошення і знизити вміст у ньому шкідливих домішок. Основними технічними параметрами установки, від яких залежить ефективність очищення повітря є: кількість повітря, що ежекується у зрошувальний струмінь, Q_c , м³/с; коефіцієнт ежекції U ; вміст вологи у потоці водоповітряної суміші (щільність зрошення q , г/м³); середній діаметр крапель води у струмені d_c , мкм; далекобійність водоповітряного струменя L_j , м; напруженість електричного поля E_n , В/м; загальна електрозарядженість аерозолі Q_e , нКл/кг.

Для встановлення ефективності очищення рудникового повітря в підземних умовах шахт Кривбасу розроблено гідравлічну завісу «Дош», яка представлена на рис. 2.



Рис. 2. Гідравлічна завіса «Дош» під час очищення повітря в гірничій виробці в шахті «Тернівська»

Гідравлічна завіса «Дош», призначена для очищення забрудненого повітря після вибухових робіт у гірничих виробках являє собою систему патрубків обладнаних відцентровими форсунками, під'єднаних до загальношахтної гідравлічної магістралі. Випробування гідравлічної завіси в умовах ш. «Тернівська», на гор. 1275 м відбувалися безпосередньо після вибуху шпурових зарядів ВР загальною масою 24 кг (грануліт 79/21 – 19 кг, україніт – 5 кг) при проведенні штреку 45-49 гор. 1308 м, орт 43 вісі. Забруднене після вибуху повітря надходило у наскрізну виробку, прилеглої до зони гірничих робіт.

За результатами випробувань гідравлічної завіси «Дощ» встановлено ефективність очищення повітря в середньому: від пилу – 94-98%, оксиду вуглецю – 55-80%, оксидів азоту – 75-85%; спостерігається стійкий режим роботи завіси в умовах запиленості і загазованості повітря; зниження концентрації пилу і газів до нормативних значень досягається за 12-13 хв.

Висновки та напрямки подальших досліджень.

1. Провітрювання зони підземних робіт і кар'єрного простору можливо з використанням головної вентиляторної установки працюючої в режимах всмоктування і нагнітання.
2. Режими провітрювання змінюються в залежності від сезонних коливань температури, а також місця масового вибуху. Як що вибух здійснюють в кар'єрі - ГВУ працює на нагнітання повітря і навпаки, як що вибух здійснюється в шахті – ГВУ працює на всмоктування.
3. Застосування загальної схеми вентиляції "шахта-кар'єр" потребує охорони рудникової атмосфери від забруднення, утворюваного при видобувних процесах.
4. Очищення вентиляційних викидів за допомогою гідравлічних завіс дозволяє знизити вміст шкідливих домішок до нормативних величин.

Перспективи подальшого розвитку в цьому напрямку полягають у тому, що видобування залізної руди відкрито-підземним способом потребує всебічного обґрунтування технологічних параметрів комплексної розробки родовищ у тому числі і проектних рішень сумісного провітрювання кар'єрів і шахт.

Список літератури

1. Черных А. Д. Комплексная разработка рудных месторождений / А. Д. Черных. – К.: Техніка, 2005. – С. 4-23
2. Ошмянский И. Б. Рациональные способы проветривания при проектировании комплексной разработки открыто-подземного яруса. Кривой Рог. Вісник КНУ. Вип.5 (15). 2006. – С. 181 – 186.
3. А. с. 1583625 СССР, Е 21 F 1/00. Способ проветривания карьеров / А. Е. Лапшин, В. Г. Слюсаренко, И. Б. Ошмянский (СССР). № 4410992/31–03; заявл. 15.04.88; опубл. 07.08.90, Бюл. № 29.
4. Пат. на корисну модель 93859 Україна МПК Е 21 F 1/00. Спосіб провітрювання кар'єрів і шахт при комбінованій розробці родовищ / Лапшин О. Є., Лапшин О. О., Лапшина Д. О.; заявник і патентовласник Криворізький національний університет. – № u 201400735; заявл. 27.01.14; опубл. 27.10.14, Бюл. № 20
5. Фролов А. В. Основы гидрообеспыливания / А. В. Фролов, В. А. Телегин, Ю. А. Сечкарев // Безопасность жизнедеятельности. № 10, 2007. С. 95-100
6. Журавлев В. П. Моделирование и проектирование систем гидрообеспыливания / [В. П. Журавлев, В. И. Саранчук, Н. А. Страхова и др]. – К.: Наукова думка, 1990. С. 40-82.
7. Моделирование и проектирование систем гидрообеспыливания / Журавлев В. П. и др. – Киев: Наукова думка, 1990. – С. 40-82.
8. Саранчук В. И. Рекун В. И. Поздняков Г. А. Электрические поля в потоке аэрозолей. – К.: Наукова думка. 1981 – 112с.
9. Лапшин О. О. Знешкодження отруйних газів і пилу в гірничих виробках шахт / О. О. Лапшин // Проблеми охорони праці в Україні. 2002. С. 35-39.
10. Лапшин О. Э., Лапшин О. О., Лапшина Д. О. Підвищення ефективності очищення рудникового повітря в гірничих виробках шахт. – Вісник Криворізького національного університету. Збірник наук. праць. Вип. 46. 2018. С. 141-147.

Рукопис подано до редакції 03.04.2019

УДК 624.012.454

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф., О.Ю. ЄРЬОМЕНКО,
М.О. ВАЛОВОЙ, кандидати техн. наук, доценти, Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ СТИСНУТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХ ПІДСИЛЕННЯ ЗОВНІШНІМ АРМУВАННЯМ КОМПОЗИТНИМИ ПОЛОТНИЩАМИ

Мета. Дослідження специфіки розподілу напружень за поперечним перерізом залізобетонних колон підсилених зовнішнім оклеюванням композитними полотнищами за умови різної форми їх поперечного перерізу.

Методи дослідження. Систематизація та аналіз існуючих відомостей про напружено-деформований стан залізобетонних стиснутих елементів підсилених зовнішнім армуванням композитними полотнищами.

Наукова новизна. Виконано дослідження існуючих в відкритому доступі результатів експериментальних випробувань стиснутих залізобетонних елементів різної форми поперечного перерізу підсилених зовнішнім армуван-

ням композитними полотнищами. Порівняно з традиційними способами підсилення обойми з композитних матеріалів дозволяють значно підвищити загальну пластичність перерізу завдяки тому, що бетон при всебічному стисканні може розвивати більш високі деформації до руйнування. Встановлено, що форма поперечного перерізу істотно впливає на показники несучої здатності даних елементів після підсилення. В круглих зразках коефіцієнт підсилення є найбільшим зменшуючись зі зменшенням кутів радіусів колони. Підсилення композитними обоймами найменш ефективне в зразках, що мають гострі кути.

Практична значимість. Встановлено, що композитні полотнища є ефективним матеріалом для підсилення бетонних та залізобетонних колон шляхом зовнішнього армування. Даний вид підсилення дозволяє відновити експлуатаційні характеристики колон, а також збільшити їх несучу здатність, в залежності від форми поперечного перерізу, до 370%, підвищити жорсткість елементу в цілому.

Результати. Встановлено, що рівень несучої здатності підсилених композитною обоймою колон круглого перерізу збільшився у 3,7 рази, а прямокутного у 1,86 рази порівняно з непідсиленими зразками відповідної форми поперечного перерізу. Вичерпання несучої здатності в прямокутних колонах підсилених композитною обоймою відбувається за рахунок руйнування композиту в кутах, де концентрація напружень найбільша за рівня навантаження, яке, в середньому, на 200% менше ніж для колон круглого перерізу з аналогічним підсиленням. Для підвищення ефективності, даного виду підсилення потрібно, додатково, передбачати роботи по заокругленню гострих кутів колон. Мінімальні радіуси заокруглення кутів колон складають 15-25мм.

Ключові слова: залізобетонна колона, форма перерізу, підсилення, композитні полотнища, несуча здатність

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-143-148

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Порушення умов експлуатації, не дотримання строків поточних ремонтів, низькі капітальні вкладення в технічне переозброєння та капітальні ремонти будівель та споруд призводять до того, що переважна більшість існуючих конструкцій накопичили дефекти та ушкодження, які впливають на їх несучу здатність і довговічність, а в певних випадках не дають можливості експлуатувати конструкцію в майбутньому. Серед різноманіття означених конструкцій значну частину складають залізобетонні.

Подальша експлуатація будівель, які мають у своєму складі конструкції зі значними ушкодженнями можливе лише за умови їх заміни новими конструкціями або підсиленням існуючих. Загальні витрати часу на підсилення конструкцій і реконструкцію будівель, в середньому, в двічі менше, ніж на нове будівництво. При цьому капітальні вкладення значно менші а їх окупність у 1,5-2,5 рази швидше ніж при новому будівництві [1].

Специфіка залізобетонних конструкцій пов'язана з їх монолітністю і прихованістю арматури вимагає індивідуальних підходів до їх підсилення в кожному окремому випадку. Зазвичай, підсилення проводиться в умовах діючого виробництва, що обумовлює обмеженість простору і є досить складною, трудомісткою і вартісною роботою.

Традиційне підсилення залізобетонних конструкцій виконується трьома основними способами: перший спосіб - зміна конструктивної схеми; другий спосіб - зміна напружено деформованого стану конструктивного елемента; третій спосіб (найпоширеніший) - збільшення перерізу за рахунок влаштування обойм, сорочок або односторонніх і двосторонніх нарощувань перерізів конструкцій.

В останні роки спосіб зовнішнього армування для ремонту і підсилення будівельних конструкцій, отримав подальший розвиток, завдяки новим високоефективним композиційним матеріалам на основі скляних, арамідних, базальтових чи вуглецевих волокон [2].

Зовнішнє армування передбачає приклеювання композитних матеріалів, за допомогою спеціальних епоксидних смол, до конструкції що підсилюється, і має цілу низку переваг: високу міцність при розтяганні; високий модуль пружності; стійкість практично до всіх видів агресивних середовищ - кислот, луги і розчинників; водонепроникність; забезпечує стійкість конструкцій в сейсмічно небезпечних зонах; невелику власну вагу, отже, незначне додаткове навантаження на конструкції; легкість монтажу, що не вимагає спеціального оснащення; можливість покриття фарбами, що дає можливість повністю приховати підсилення [3,4].

Залізобетонні колони є одним з розповсюджених елементів конструкцій будівель та споруд руйнування яких неминуче призведе до загального руйнування всієї будівлі. Проведені за кордоном дослідження їх підсилення зовнішнім оклеюванням композитними холстами довели ефективність даного підходу. В той же час мало дослідженим залишається питання впливу форми поперечного перерізу колон на ефективність підсилення у зазначений спосіб.

Аналіз досліджень і публікацій. Відомо [5], що композити представляють собою двокомпонентний матеріал фізико-механічні властивості якого визначаються аналогічним показниками фібри та матриці з яких він складається. Узагальнена залежність $\sigma - \epsilon$ окремих складових та самого композиту наведено на рис. 1.

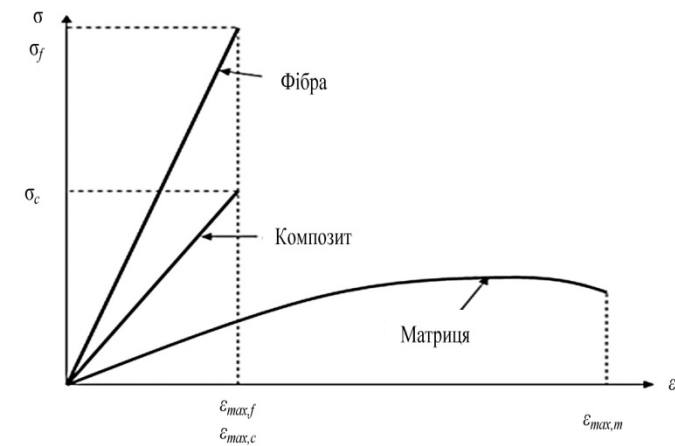
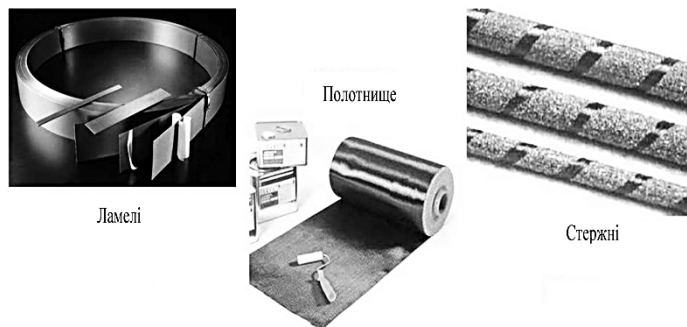


Рис. 1. Напружено-деформований стан композиту та його компонентів [5]

Композитні системи для зовнішнього армування відрізняються за сукупністю матеріалів (полотна, ламінати, сітки і типи волокон в них) технологією влаштування (системи матеріалів заводського виготовлення попередньо просочених смолою, системи мокрого способу укладання по місцю виробництва робіт, системи, що вмонтовуються в пазах і системи попереднього затвердіння) та роботою конструкцій (згинні і стиснуті) [6] (рис. 2).

Рис. 2. Композитні матеріали для підсилення конструкцій



і помірно клейкий, зі зйомною / такою що відділяється / плівкою (силіконовим папером і т.п.), що наноситься на поверхню, для збереження системи від зовнішнього забруднення. Ламінати за допомогою адгезивів приклеюються на заздалегідь підготовлену поверхню, що підсилюється [6].

Системи мокрого способу укладання (полотна) виготовляються з волокон, які йдуть в одному або декількох напрямках, в формі полотнищ або тканин, і просочуються смолою на місці проведення робіт при установці на конструкцію [6].

Системи попереднього твердіння, вироблені методом пултрузії або пошарового формування, які мають різноманітні форми і безпосередньо приклеюються до елементу конструкції, що підлягає підсиленню [6].

Технічно і технологічно підсилення за допомогою зовнішнього обгортання композитами ефективніше традиційних способів підсилення за допомогою, наприклад, сталевих обойм. Для забезпечення сумісної роботи сталевих обойм з конструкцією, що підсилюється потрібно включити елементи обойми в роботу, що досягається шляхом створення в обоймі зусиль попереднього напруження. Обойми з композитних полотнищ включаються в роботу з конструкцією підсилення через клейовий шар безпосередньо під час монтажу. При використанні таких обойм збільшується загальна пластичність перерізу за рахунок здатності розвивати при стисканні більш високу деформацію до руйнування. Вони можуть відстрочити викривлення сталевих поздовжньої арматури, що працює на стиск, і посилити місце напускного з'єднання сталевих поздовжньої арматури. Зазвичай обойми з композитних полотнищ також використовуються для підвищення сейсмостійкості колон, опор мостів і т.п. Композитні матеріали можуть застосовуватися на зовнішніх поверхнях для відновлення втраченої несучої здатності колон в разі втрати частини перерізу арматури чи внаслідок її корозії або для підвищення несучої здатності в разі збільшення діючих навантажень [7].

Зовнішнє армування стиснутих конструкцій (колон, простінків) здійснюються шляхом влаштування обойм з полотен навколо перерізу елементів. Для утворення обойм, з напрямком

армуючи волокон перпендикулярно осі конструкції, що підсилюється, полотна встановлюються по всій висоті конструкції (рис. 3).

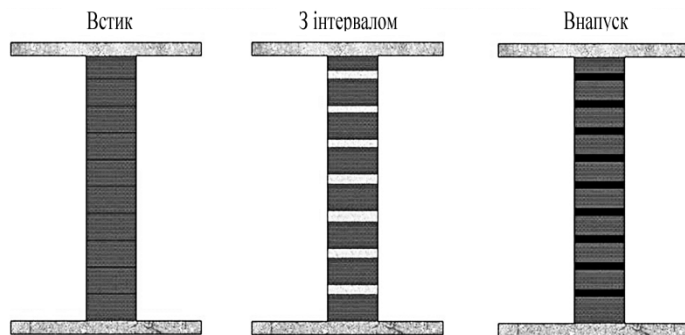


Рис. 3. Варіанти улаштування обойм колон

У разі круглих колон обойми з полотен створюються шляхом їх використання безперервно по всій довжині колони (рис. 3), у вигляді окремих обручів, що влаштовуються через певні проміжки (рис. 3), або шляхом спіральної навивки композиційного матеріалу (рис. 3) [7].

За кордоном було проведено значну кількість експериментальних ви-

пробувань з визначення напружено-деформованого стану стиснутих конструкцій підсилених зовнішнім обгортанням композитним полотнищами. Аналіз тих робіт, які є в відкритому доступі, дозволяє вказувати на те, що форма поперечного перерізу створює значний вплив на ефективність даного виду підсилення. Загалом розглядуваний вид підсилення набув широкого розповсюдження, як в нашій країні, так і за кордоном. При цьому підсилюють колони будь-якого перерізу [7, 8].

Автори робіт [8, 9] зазначають, що створення обойми з композитного матеріалу навколо перерізу колони дозволяє, за рахунок бокового обмеження, збільшити несучу здатність та деформативність конструкції (рис. 4). Обмеження поперечних деформацій стиснутого бетону призводить до того, що він починає зазнавати об'ємного напруженого стану. Теоретично, бетон в такому стані може витримувати нескінченно великі напруження, а на практиці міцність такого елемента буде обмежена міцністю композиту обойми чи клейової суміші. При використанні обойм збільшується загальна пластичність перерізу внаслідок здатності розвивати при стисканні більш високі деформації до руйнування (рис. 4).

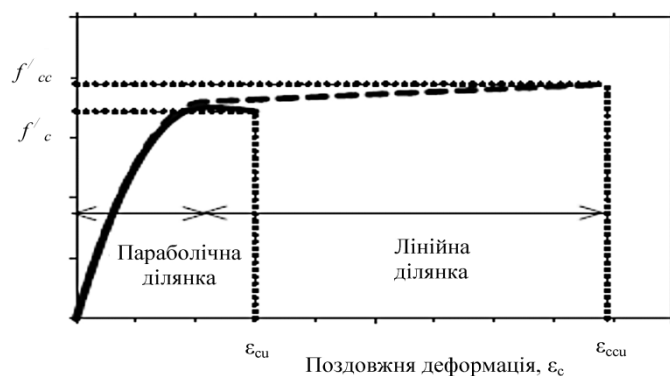


Рис. 4. Типовий напружено-деформ. стан стиснутого бетону та бетону підсил. зовнішнім армуванням композитною обоймою [9]:

- - бетон не обмежений обой-
- - - бетон обмежений обой-

Постановка задачі. Метою дослідження є визначення впливу форми поперечного перерізу стиснутих залізобетонних елементів на їх несучу здатність за умови підсилення зовнішнім оклеюванням композитними полотнищами. Для цього виконано аналіз та узагальнення існуючих ек-

спериментальних відомостей [9...15] про роботу таких конструкцій.

Викладення матеріалу та результати. Існуючі результати досліджень [12...15] вказують на те, що найбільшого ефекту від обтиску можна досягти в колонах круглого перерізу. В такому перерізі бетон зазнає рівномірного всебічного стискання на відміну від прямокутних (квадратних) перерізів (рис. 5).

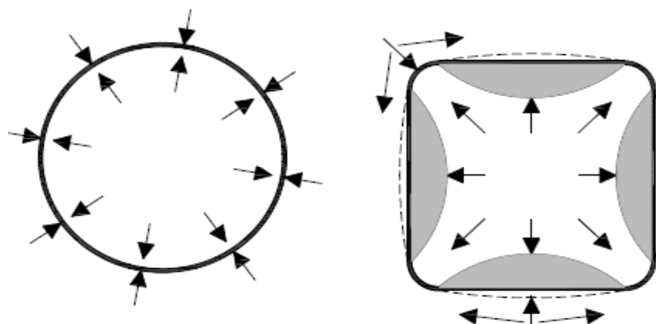


Рис. 5. Розподіл напружень в колонах прямокутного та круглого перерізів підсилених зовнішнім армув. композитною обоймою [14]:

- - обойма з композиту;
- - ділянка бетону, що не підсилюється;
- - ділянка бетону, що підсилюється

В квадратних і прямокутних колонах на кутах розвиваються значні місцеві напруження, оскільки дані виступи є концентраторами напружень. Останнє

призводить до не рівномірного розподілу напружень за бетоном перерізу (рис. 6), виникненню значних напружень в місцях різкої зміни форми перерізу і руйнування обойми з композиту при напруженнях в бетоні набагато менших ніж для колон круглої форми [12, 14, 15].

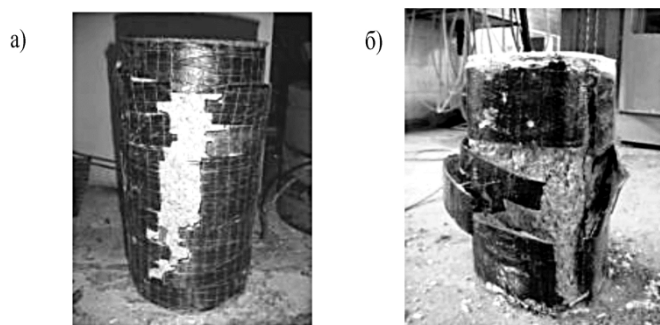


Рис. 6. Розрив обойми з композитного полотна для колон круглої (а) та прямокутної форми (б) [15]

В табл. 1 наведено експериментальні дані досліджень з визначення руйнівного навантаження для колон різного перерізу, як підсиленних зовнішнім армуванням обоймою, так і без нього [15].

Аналіз таблиці 1 вказує на те, що в круглих колонах підсиленних обоймою з композитного полотна руйнівне навантаження збільшилося, в середньому, у 3.7 рази. Порівняння тих же показників для квадратних колон показує приріст міцності у 1.86 рази. Таким чином концентрація напружень, яка виникає в кутах прямокутних перерізів зменшує ефект від підсилення на 200% порівняно з колонами круглого перерізу [15].

Таблиця 1

Показники міцності колон підсиленних зовнішнім армуванням композитами [15]			
Вид перерізу	Тип зовнішнього підсилення	Геометричні розміри, мм	Середнє руйнівне зусилля за серіями, кН
Круглий	-	$h=750; \varnothing 150$	491
Круглий	Склопластикове полотнище	$h=750; \varnothing 150$	1838
Квадратний	-	$h=750; b \times d=150 \times 150$	760
Квадратний	Склопластикове полотнище	$h=750; b \times d=150 \times 150$	1416

Зважаючи на сказане, у разі підсилення прямокутних або квадратних колон, в залежності від типу застосовуваних полотен, їх кути повинні бути заокруглені радіусами 15-25 мм. Підсилення зовнішніми обоймами прямокутних колон менш ефективно, ніж круглих, оскільки концентрація напружень локалізується в кутах конструкції і основна товщина оболонки повинна бути більшою між кутами для обмеження бокового розширення і виключення неприпустимого вигину колони [13-15].

Висновки та напрямок подальших досліджень. Проведений огляд існуючих відомостей, щодо впливу форми перерізу стиснутих елементів на їх напружено-деформований стан дозволяє зробити наступні висновки:

1. Композитні полотна - ефективний матеріал для підсилення бетонних колон. Використання їх в якості зовнішнього армування (обойми) дозволяє збільшити як міцність, так і жорсткість.
2. Ефективність підсилення композитом залежить від форми зразка. В круглих зразках коефіцієнт ефективності є найвищим.
3. Кутовий радіус перерізу колони і властивості композитного полотна безпосередньо впливають на ефективність підсилення. Підсилення обгортанням (улаштування обойми) найменш ефективне в зразках, що мають гострі кути.
4. Руйнування прямокутних зразків, підсиленних композитною обоймою, відбувається в кутах, де концентрації напружень найбільші.

Список літератури

1. Hollaway L. C., 2003. "The evolution of and the way forward for advanced polymer composites in the civil infrastructure". *Construction and Building Materials* 17, 365-378.
2. Qu W., Zhang X., Huang H., 2009. "Flexural behavior of concrete beams reinforced with hybrid (GFRP and Steel) bars". *Journal of Composites for Construction* ASCE, 13(5), 350-359.
3. Berg A. C., Bank L. C., Oliva M. G., Russell J. S., 2006. "Construction and cost analysis of an FRP reinforced concrete bridge deck". *Construction and Building Materials* 20, 515-526.
4. Qu W., Zhang X., Huang H., 2009. "Flexural behavior of concrete beams reinforced with hybrid (GFRP and Steel) bars". *Journal of Composites for Construction* ASCE, 13(5), 350-359.
5. Валоной О.І., Єрьоменко О.Ю., Валоной М.О. Характеристики міцності та жорсткості балок армованих базальтовою арматурою // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. пр. / Кривий Ріг: КНУ, 2017. – Випуск 44. с. 142-146.

6. Al Chami G., 2006. "Creep behavior of CFRP strengthened concrete columns and beams". *PhD Thesis* Department of Civil Engineering, University of Sherbrooke, Canada.
7. ACI440.2R-08, 2008. "Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures". *ACI Committee 440*, American Concrete Institute Farmington Hills, Michigan.
8. Kaminski M., Trapko T. 2006. Experimental behaviour of reinforced concrete column models strengthened by CFRP materials, *Journal of Civil Engineering and Management* 12(2): 109–115.
9. Thériault, M., Neale, K.W. (2000). Design equations for axially loaded reinforced concrete columns strengthened with fibre reinforced polymer wraps. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 2(7): 1011–1020.
10. Kaminski M., Trapko T. 2006. Experimental behaviour of reinforced concrete column models strengthened by CFRP materials, *Journal of Civil Engineering and Management* 12(2): 109–115.
11. Bulavs F., Radinsh I., Tirans N. 2005. Improvement of capacity in bending by the use of FRP layers on RC beams, *Journal of Civil Engineering and Management* 11(3): 169–174.
12. Matthys S., Toutanji H., Taerwe L. Stress-strain behavior of large-scale circular columns confined with FRP composites. *J. Struct. Eng.* 2006, 132, 123–133.
13. Ozbakkaloglu T. Axial compressive behavior of square and rectangular high-strength concrete-filled FRP tubes. *J. Compos. Constr.* 2013, 17, 151–161.
14. Wang Z., Wang D., Smith S., Lu D. CFRP-confined square RC columns. I: Experimental investigation. *J. Compos. Constr.* 2012, 16, 150–160.
15. Baris Erdil, 2012. "Behavior of cfrp confined concrete specimens under temperature cycles and sustained loads". *PhD Thesis* Department of Civil Engineering, The graduate school of natural and applied sciences of middle east technical university, Turkey.

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 620.92:[658.26:351.824.11]

О.В. ЗАМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., А.А. КАЛІНІЧЕНКО, асистент
Криворізький національний університет

ПРИНЦИПИ ЗАСТОСУВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ВИРОБНИЦТВА

Мета. Сучасна енергетика в основному базується на невідновлювальних джерелах енергії, які мають обмежені запаси. Тому вони не можуть гарантувати стійкий розвиток світової енергетики на тривалу перспективу, а їх використання – один з головних факторів, який негативно впливає на навколишнє середовище. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії є одним із важливих критеріїв сталого розвитку світової спільноти. Адже їх використання є екологічно безпечним для навколишнього середовища. Здійснюється пошук нових і вдосконалення існуючих технологій застосування альтернативних джерел енергії, виведення їх до економічно ефективного рівня та розширення сфер їх використання. Тому мета запропонованої наукової статті полягає у розробці системного підходу до обґрунтування доцільності застосування комбінацій нетрадиційних джерел енергії в схемах теплопостачання комунального господарства та виробництва.

Методи. У науковій роботі розглянуті такі методи: теоретичні дослідження роботи компонентів схем теплопостачання комунальних об'єктів на основі нетрадиційних джерел енергії в заданих кліматичних умовах; аналітичні методи, за допомогою яких проведено аналіз шляхів використання нетрадиційних джерел; методи математичної статистики для оброблення даних.

Наукова новизна наукової праці полягає в обґрунтуванні та вирішенні науково-технічної задачі підвищення оцінки доцільності застосування комбінацій нетрадиційних джерел енергії в схемах теплопостачання об'єктів із врахуванням кліматичних умов місцевості.

Практична значимість. Дане наукове дослідження присвячено виявленню найбільш раціональних комбінацій методів використання альтернативних джерел, що в свою чергу дозволяє поліпшити існуючі технології, виведення їх до економічно ефективного рівня та розширення сфер використання.

Результати. У даній науковій праці запропоновано новий системний підхід до оцінювання доцільності застосування різних комбінацій нетрадиційних джерел енергії в схемах енергопостачання комунального господарства та виробництва із врахуванням кліматичних умов місцевості.

Ключові слова: нетрадиційні, джерела, енергія, ефективність, комунальне господарство, відновлювальні, альтернативні, енергетика.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-148-154

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сучасна енергетика потребує кардинальних змін, адже традиційні джерела енергії є вичерпними і їх використання

забруднює навколишнє середовище. Саме тому доцільно використовувати відновлювальні джерела енергії, які є екологічно безпечними для середовища. До невідновлюваних джерел енергії будемо відносити гідроелектростанції (великі, середні та малі), геотермальну, сонячну, фотоелектричну та теплову енергію, енергії припливів, хвиль океану, вітру, тверду біомасу, гази з біомаси, рідкі біопалива та відновлювані муніципальні відходи, а також теплоенергію «створювану» завдяки тепловим насосам, торф, шахтний метан та вторинні джерела енергії, такі як: скидне тепло, муніципальні промислові відходи, тиск доменного газу та природного газу під час його транспортування.

В проєкті оновленої Енергетичної стратегії України до 2035 р. [1] зазначено, що в цей період найбільшими темпами планується збільшувати використання відновлюваних джерел енергії – їх частка у структурі загального первинного постачання енергії має збільшитися у 3,8 рази – з 6 % до 20 %. В рамках зобов'язань по виконанню вимог з приєднання до Третього енергетичного пакету ЄС, Україна має виконати Директиву ЄС 80/2001, що нормує викиди NO_x, SO_x та пилу великими ТЕС. Рівень викидів цих шкідливих речовин для великих ТЕС України у 2018 р. склав 1059 тис. т NO_x, 193 тис. т SO_x та 247 тис. т пилу. Згідно з Директивою ЄС 80/2001 до 2021р. Україна має зменшити викиди NO_x до 49 тис. т, SO_x до 53 тис. т, та пилу до 5 тис. т до 2021р. Досягнення цих показників може бути реалізовано через використання відновлюваних джерел енергії та атомної енергетики.

Україна, як член Енергетичного співтовариства, підписала Директиву ЄС 2009/28/ЕС щодо просування відновлюваної енергетики. Таким чином, держава має забезпечити обов'язкову частку відновлюваної енергії у структурі загального споживання в 2020 році на рівні 11%.

Аналіз досліджень і публікацій. Як згадувалось вище, необхідність широкого використання відновлюваних джерел енергії визначається швидким зростанням потреби в електричній енергії, вичерпанням у майбутньому розвіданих запасів органічного палива; кризовим станом довкілля в зв'язку із забрудненням оксидами азоту і сірки, вуглекислим газом, утворені частки пилу від згорання палива, радіоактивним і тепловим забрудненням тощо

Застосування існуючих технологій нетрадиційних джерел енергії не є досить досконалими, мають різний рівень економічної ефективності та різний технічний рівень. Однак про доцільність їх використання свідчить ряд переваг: дуже низький рівень (або зовсім не мають) викидів парникових газів; такі технології мають невичерпний запас палива необхідний для їх реалізації.

Деякі з цих технологій вже сьогодні є конкурентоспроможними і є всі підстави сподіватись, що в майбутньому їх економічна ефективність буде зростати на фоні зростання ціни і ускладнення умов видобутку традиційних енергоресурсів.

Питання підвищення ефективності використання нетрадиційних джерел енергії досліджувались в роботах Патона Б.Є. [1,2], Кудрі С.О. [3], Жесана Р.В. [4], Григораша О.В., Григораша Ю.П. [5], Ахметжанова Р.А. [6], Худолея В.Ю. [7] та ін. В даних працях не розглянуто аспекти поєднання геліо- та вітроенергоустановок та їх впровадження в промисловість, що свідчить про необхідність подальшого вивчення питання.

Постановка завдання. Завдання наукової праці полягає у виявленні найбільш раціональних комбінацій методів використання альтернативних джерел, що в свою чергу дозволяє покращити ефективність технології енергетичного комплексу, збільшення економічного рівня та розширення сфер використання.

Використання сонячних батарей дозволяє забезпечити будинки безкоштовної енергією, особливо в умовах нестабільності електропостачання. Однак у цього методу є один недолік – в похмуру погоду ефективність геліосистеми дуже низька, і споживачу необхідно мати додаткове джерело енергії. Застосування різного роду генераторів (бензинових, дизельних) незручно, оскільки вони вимагають значних витрат та утворюють значну кількість шуму. Кращий вихід – комбіновані установки, що включають в себе сонячні батареї і вітрогенератори. Це робиться для зниження залежності від одного джерела енергії і погодних умов, тому що бувають періоди затишшя при яскравому сонячному світлі і, навпаки, в похмуру погоду дме сильний вітер. Такі гібридні комплекси дозволяють в повній мірі використовувати можливості природної енергетики.

Вироблення електроенергії сонячними і вітроенергетичними установками значно залежить від погодних умов, зміна яких має випадковий характер. Тому необхідно здійснити пошук нових рішень описаної проблеми.

Викладення матеріалу та результати. Як описувалось вище, погодні умови впливають на вироблення енергії невідновлюваними джерелами. Доцільно в даному випадку використовувати гібридні комплекси.

Для вирішення ситуації, коли кліматичні умови далекі від ідеальних (недостатньо вітру або сонячного світла) вживають наступні заходи: на початковому етапі в проект майбутньої вітро-сонячної установки закладається потужність, на 20-30% більше заявленої замовником. Це дозволяє накопичувати електроенергію навіть під час споживання.

Ємність акумуляторної батареї також робиться надлишковою та розраховується виходячи з необхідного часу роботи в періоди затишшя та похмурої погоди. В системі використовуються герметичні необслуговувані AGM акумулятори, які не потребують періодичного додавання електроліту та не виділяють шкідливих газів. Термін служби батареї даного типу становить від трьох до п'яти років, в залежності від режиму експлуатації.

У вітро-сонячних установках, застосовуються унікальні контролери заряду акумуляторних батарей, що володіють проміжним блоком підвищення напруги. Це робить можливим використання енергії навіть найслабшого вітру. Сонячні ж батареї малоефективні в похмуру погоду. Таким чином, вітряки та геліопанелі відмінно доповнюють один одного, забезпечуючи постійну зарядку акумуляторних батарей, що підтримує енергопостачання будинку на належному рівні. Ще одна перевага – сонячні системи не вимагають витрат на утримання та паливо, при цьому вони максимально ефективні в літній період, коли швидкість вітрів зазвичай нижче.

У літній період та сонячної погоди взимку максимальне енерговироблення буде йти від сонячних батарей. А ось в похмурі міжсезоння, коли хмарність значна та швидкість вітру достатньо сильна, виробляти енергію будуть переважно вітряки.

В даний час в світі накопичений досвід по використанню сонячної та вітрової енергії. В умовах розвиненої геліо- і вітротехніки необхідно досліджувати умови використання поновлюваних джерел та розробляти методи оцінки енергозабезпечення споживачів від відновлюваних джерел енергії.

Енергія, що виробляється геліо- або вітроенергетичною установкою непостійна протягом аналізованого проміжку часу (року, місяця, доби) внаслідок мінливості надходження сонячної і вітрової енергії. При цьому вироблення енергії залежить від параметрів енергоустановок. У якості основних параметрів геліоустановок розглядаються площа та кут нахилу сонячних колекторів, а для вітроенергетичних установок – площа вітроколеса, що омивається, і розрахункова швидкість вітру.

Вибір основних параметрів геліо- та вітроустановок проводиться по енергії, що виробляє установка, і яка відповідає споживаній за аналізований період. При цьому теплова енергія, що виробляється сонячною установкою, визначається для середніх умов розглянутого місяця. Денний, середньомісячний виробіток енергії з одиниці площі геліоустановки визначається за виразом, МДж/м²

$$Q_{\text{в.год}}^{\text{дн}} = F_R \cdot \left[H \cdot (\overline{\tau \alpha}) \cdot R - U_L \bar{S} (T_{\text{ср}} - T_0) \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \right]$$

або

$$Q_{\text{в.год}}^{\text{дн}} = F_R \cdot \left[H_0 \cdot \left(a + b \cdot \frac{\bar{S}}{S_0} \right) \cdot (\overline{\tau \alpha}) \cdot R - U_L \bar{S} (T_{\text{ср}} - T_0) \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \right],$$

де F_R – коефіцієнт, пов'язаний з ефективністю перенесення тепла від пластини колектору до рідини, що відводить тепло; $(\overline{\tau \alpha})$ – наведена поглинальна здатність, що враховує результуюче вплив оптичних властивостей матеріалів колектору; U_L – коефіцієнт теплових втрат, що враховує можливі сумарні втрати з одиниці площі колектору; $\bar{S}$ – денна середньомісячна тривалість сонячного саява; H – середньомісячна сумарна сонячна радіація, що надходить на горизонтальну поверхню площині колектору; R – відношення середньомісячних денних парафій сумарної енергії на похилу та горизонтальну поверхні; $T_{\text{ср}}$ – середня температура теплоносія в колекторі; T_0 – температура навколишнього середовища; H_0 – еталонне (умовне) значення сумарної енергії; S_0 – можлива тривалість сонячного саява, год; a та b – постійні коефіцієнти.

Зазвичай, основними критеріями вибору відновлюваних джерел енергії є: потужність, що розвивається, вартість електроенергії, що виробляється, розміри і вартість використаних енер-

гоустановок, частка заміщення вуглеводневого палива, відстань від відновлюваних джерел енергії до мереж централізованого електропостачання.

Для ефективного енергозабезпечення в новій системі енергопостачання необхідно мінімізувати всілякі витрати. Тоді цільова функція, вартість енергії, що виробляється системою комплексного енергопостачання, повинна бути мінімальною [14]

$$c = c_B f + c_T (1 + f) \rightarrow \min ,$$

де c_B і c_T – відповідно вартість енергії від поновлюваного та традиційного джерел; f - коефіцієнт заміщення, який показує частку потрібної енергії, що заміщується поновлюваним джерелом.

Використання відновлюваної енергії в системі комплексного енергопостачання можливе за умови

$$\begin{cases} c_B \leq c_T; \\ T_{ок} \leq T_{сл}, \end{cases}$$

де $T_{ок}$, $T_{сл}$ – відповідно терміни окупності та служби підсистеми, що використовує відновлювані джерела енергії.

В даний час ціни на енергоносії схильні до постійного зростання. Умови використання поновлюваних джерел енергії залежить як від місцевих кліматичних умов, так і соціально-економічних умов розвитку регіону.

Вартість перетвореної відновлюваної енергії і термін окупності підсистеми відновлюваних джерел енергії залежать від досконалості технічних рішень і технологій використання відновлюваної енергії. Технологія використання відновлюваних джерел залежить від режимів надходження і споживання відновлюваної енергії, тобто від умов узгодження поновлюваного джерела зі споживачем.

Економічний ефект в даній системі комплексного енергопостачання очікується за рахунок зниження вартості енергії

$$E = (c_T - c) \cdot Q_{п},$$

де $Q_{п}$ – потрібна енергія.

При досягненні економічного ефекту необхідно, щоб додаткові капіталовкладення в існуючу традиційну систему енергопостачання окупилися в установлені терміни. Тоді як економічної характеристики в досліджуваній системі комплексного енергопостачання слід розглядати і термін окупності додаткових капіталовкладень.

Термін окупності додаткових капіталовкладень в систему комплексного енергопостачання визначається як

$$T_{ок} = \frac{K_{доп}}{(c_T - c) \cdot Q_{п}}.$$

Ефективність досліджуваної системи комплексного енергопостачання безпосередньо пов'язана з використанням відновлюваних джерел. Тому окремо для підсистеми, що використовує відновлювані джерела, можна визначити порівняльний економічний ефект, який очікується в результаті доходу від продажу енергії, отриманої за рік роботи енергоустановки, за вирахуванням витрат на її експлуатацію $E_{вие}$ [12], грн/рік

$$E_{вие} = (c_T Q_{п} f - 3_{уд} A),$$

де A - площа геліоустановки, або площа вітроколеса, що омивається.

Як бачимо, порівняльний економічний ефект залежить від площі енергоустановки, яка розглядається як основний параметр. Протягом року для кожного місяця необхідна своя площа, яка змінюється в межах від мінімальної A_0 до максимальної A_m , зважаючи мінливості, надходить відновлюваної і необхідної потрібної енергії [12]. Тому необхідно вибрати конкретну площу для комбінованої установки.

Оскільки термін окупності залежить від величини очікуваного економічного ефекту, то через його незначності енергоустановки може зовсім не окупитися протягом терміну служби. Тоді поряд з порівняльною ефективністю підсистеми відновлюваних джерел енергії необхідно досліджувати термін окупності капіталовкладень. Термін окупності капіталовкладення на використання поновлюваних джерел енергії залежить від величини очікуваного економічного ефекту

$$T_{ок} = \frac{K_{вив}}{c_{м} Q_n f - 3_в},$$

де $K_{вив}$ – капіталовкладення на використання відновлюваної енергії.

Таким чином, очікуваний порівняльний економічний ефект підсистеми відновлюваних джерел і термін окупності капіталовкладень є основними економічними характеристиками і залежать від корисної вироблення геліо- та вітроенергоустановки і необхідних на них витрат, які, наприкінці, визначають частку заміщення і вартість перетвореної відновлюваної енергії. Визначальним фактором корисного вироблення від відновлюваних джерел і необхідних витрат на їх використання є площа енергоустановки.

Щорічні витрати на використання відновлюваної енергії можна уявити через капіталовкладення на питому площу геліоустановки або площу вітроколеса вітроенергетичної установки, що омивається [13]

$$3_{вие} = u_{вие} \cdot \gamma_{вие} \cdot K_{вие} \cdot A_{вие},$$

де $u_{вие}$ – сумарне відрахування від капіталовкладення на енергоустановку в річний експлуатаційний витраті; $\gamma_{вие}$ – коефіцієнт, що враховує вартість будівельно-монтажних робіт і додаткового обладнання.

Тоді вартість корисної енергії, що виробляється геліоустановкою або вітроенергетичною установкою, кВт·год

$$c_в = \frac{3_в}{Q_n f} = u_в \gamma_в \frac{K_{уд}}{Q_n f} A_в.$$

У наведеному виразі з ростом площі енергоустановки витрати на неї (чисельник) ростуть швидше, ніж корисне вироблення (знаменник), а отже, існує екстремум функції. Тоді площу геліо- або вітроенергетичної установки можна вибирати довільно, вона повинна бути оптимальною. При цьому вибір площі енергоустановки повинен бути підпорядкований кінцевій меті, коли очікується мінімальна вартість енергії в системі комплексного енергопостачання.

Умови ефективного енергозабезпечення з використанням сонячної або вітрової енергії залежать в основному від капіталовкладення на геліо- та вітроенергоустановки і вартості традиційної енергії. Величина оптимальної площі залежить від співвідношення цих величин.

Допустима величина питомого капіталовкладення залежить від умов вироблення корисної енергії енергоустановкою геліоенергоустановкою або вітроенергоустановкою протягом аналізованого терміну і вартості енергії, що заміщується. З іншого боку, по заданій величині питомого капіталовкладення можна встановити мінімальну вартість традиційної енергії, коли ефективно використання відновлюваної енергії.

Для більш крупних промислових споживачів маємо альтернативну схему вироблення електроенергії з застосуванням паротурбінної установки (рис.).

У той час, коли вітроенергетична установка повністю забезпечує об'єкт електроенергією, а рівень сонячної іррадіації недостатній для продуктивної роботи паротурбінної установки, можливо використовувати накоплену у геліоприймачах енергію для потреб місцевого теплопостачання.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Найбільш економічно вигідним рішенням для комунальних споживачів є використання комбінації сонячних фотопанелей та вітрових генераторів. Термін окупності даної схеми є більшим в порівнянні з системами на традиційних видах палива, що зумовлено значними капітальними затратами на інсталяцію такої системи. Однак враховуючи значно більший строк експлуатації та постійне експоненційне зростання вартості енергоносіїв, впровадження є досить ефективним.

Для більш великих промислових споживачів вигідніше використовувати альтернативну схему вироблення електроенергії з застосуванням паротурбінної установки. У той час, коли вітроенергетична установка повністю забезпечує об'єкт електроенергією, а рівень сонячної іррадіації недостатній для продуктивної роботи паротурбінної установки, можливо використовувати накоплену у геліоприймачах енергію для потреб місцевого теплопостачання.

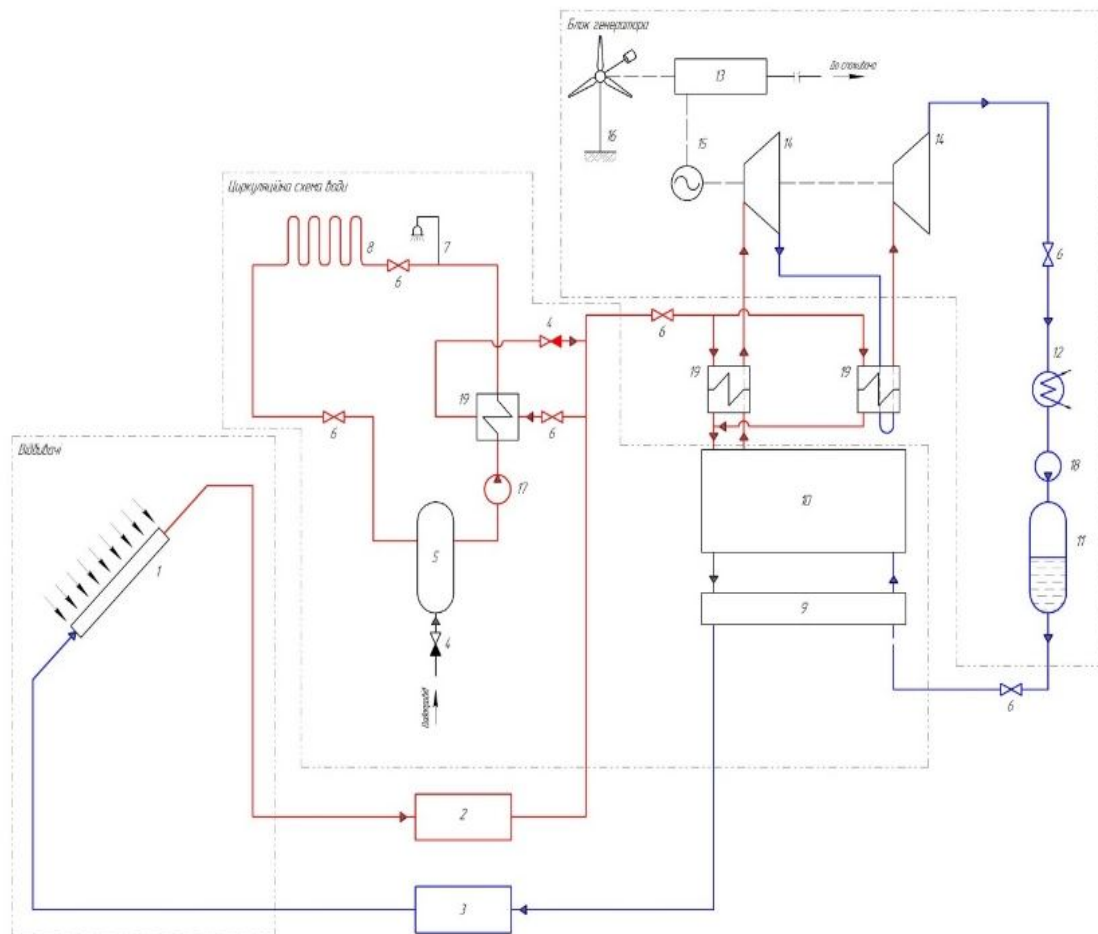


Рис. Принципова теплова схема сонячно-вітряної електростанції: 1 – сонячні модулі; 2 – бак гарячий; 3 – бак холодний; 4 – зворотній клапан; 5 – водяний бак; 6 – клапан; 7 – душа; 8 – опалення; 9 – підігрівач; 10 – парогенератор; 11 – конденсатний бак; 12 – конденсатор; 13 – контролер; 14 – конденсаційна турбіна; 15 – генератор; 16 – вітрогенератор; 17 – насос; 18 – конденсаційний насос; 19 – теплообмінник

Список літератури

1. Проект енергетичної стратегії України до 2035 року. К.: 2016. – 97 с. Режим доступа: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245165746&cat_id=245165726 (дата звернення 17.08.2017)
2. Патон Б. Є. Умови ефективного застосування сонячних електроенергетичних систем / Б. Є. Патон // Вісник НАН України. – 2012. – № 3. – С. 48-58
3. Нетрадиционная энергетика // Экология и жизнь. – 2001. – № 6. – С. 24-27.
4. Челіжко В. Безперспективна стратегія для альтернативної енергетики / В. Челіжко // Уряд. кур'єр. – 2012. – 26 лип. (№ 132) – 4 с.
5. Денисенко Г. И. Комплексное использование возобновляемых источников энергии / Г. И. Денисенко. – К.: Знання УССР, 1984. – 32 с.
6. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: Підручник / С.О. Кудря. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с
7. Жесан Р. В. Шляхи енергозбереження у комунально-побутовому господарстві України в світлі зростання тарифів та більш широкого запровадження відновлюваних джерел енергії / Р. В. Жесан, О. П. Голик, А. А. Попок // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. - Кіровоград: КНТУ, 2016. - Вип. 29. - С. 185-192
8. Григораш О.В. Возобновляемые источники электроэнергии: Монография / О.В. Григораш, Ю.П. Степура, Р.А. Сулейманов, Е.А. Власенко, А.Г. Власов; под общ. ред. О.В. Григораш. – Краснодар: КубГАУ, 2012, – 272 с.
9. Прокіт А. Сучасні підходи до енергозабезпечення людства в умовах формування суспільства сталого розвитку / А. Прокіт // Економіка України. – 2012. – № 5. – С. 85-91
10. Ясенецький В. Відновлювальна енергетика ХХІ століття [Текст] / В. Ясенецький, В. Клименко // Новини агротехніки. – 2007. – № 5. – С. 38–39.
11. Ахметжанов Р.А. Повышение эффективности использования солнечной и ветровой энергии для тепло-снабжения сельскохозяйственных потребителей: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Р.А. Ахметжанов. - Челябинск: Изд-во ЧГАУ, 2005. - 23 с.

12. Энергоснабжение сельскохозяйственных потребителей с использованием возобновляемых источников: учеб. пособие для вузов / Л.А. Саплин, С.К. Шерьязов, О.С. Пташкина-Гиринна [и др.]; под общ. ред. Л.А. Саплина. - Челябинск, 2000. - 194 с.

13. Охоткин Г.П., Серебрянников А.В. Основные принципы построения автономных солнечных электростанций [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2012. №6. URL: <http://www.science-education.ru/106-7345> (дата обращения: 09.11.2012).

14. Шерьязов С.К. Обоснование эффективной системы энергоснабжения с использованием возобновляемой энергии / С.К. Шерьязов // Ползуновский вестн. АлтГТУ. - 2006. - Вып. 4. - №2. - С. 434-439.

15. Щекун Л. Сонячна енергетика освоює південні степи / Л. Щекун // Уряд. кур'єр. – 2012. – 23 лист.(№ 216). – С 11.

Рукопис подано до редакції 02.04.2019

УДК 681.03

І.Н. ВДОВИЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., О.С. БАТРЯ, ст. викладач
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ДОДАТКУ ЕМУЛЯЦІЇ ТРИВИМІРНОЇ СЦЕНИ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ШЕЙДЕРІВ ТА ЗАСОБІВ OPENGL

У публікації розглянуто спосіб поєднання функціоналу OpenGL з засобами шейдерів для досягнення оптимальної швидкодії при обробці графічних об'єктів.

Мета дослідження: побудова тривимірної сцени за допомогою шейдерів та бібліотеки OpenGL.

Методи дослідження: програмування та математична обробка наборів векторних графічних примітивів.

Наукова новизна: системний аналіз побудови тривимірної сцени за допомогою шейдерів та бібліотеки OpenGL.

Практична значимість: удосконалено можливості відкритого стандарту, такі як поглинання та розсіювання світла, накладення текстур та ефекту пост-обробки. Представлені блок-схема алгоритму роботи шейдерів вершин та геометрії та блок-схема алгоритму роботи шейдерів вершин та геометрії для створення пост-обробки. Відзначено особливості програмування даної сфери. Запропоновано методи та алгоритми вирішення задач створення програмного забезпечення візуалізації тривимірної сцени.

Результати: у статті представлено можливості додатку для моделювання тривимірної сцени із використанням потужностей шейдерів та OpenGL. Розглянуто призначення шейдерів. Відмічено, що OpenGL - це графічний стандарт в області комп'ютерної графіки. На даний момент він є одним з найпопулярніших графічних стандартів у всьому світі. Стаття характеризує OpenGL, як єдиний стандарт для розробки тривимірних додатків, що поєднує в собі такі якості як силу і в той же час простоту. Мультиплатформеність дозволяє легко переносити програмне забезпечення з однієї операційної системи в іншу. Активне використання тривимірної графіки в багатьох сферах наукової діяльності та промисловості є актуальною проблемою. Традиційно підтримка тривимірної графіки обмежувалася високопродуктивними комп'ютерами або спеціалізованими ігровими консолями, а її програмування вимагало застосування складних алгоритмів. Однак, завдяки зростанню продуктивності персональних комп'ютерів і розширенню можливостей браузерів стало можливим створення і відображення тривимірної графіки із застосуванням нових технологій.

Ключові слова: шейдер, тривимірні сцени, графічні об'єкти, інтерфейс, відеоефекти.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-154-159

Об'єктом дослідження є шейдери GLSL та OpenGL, їх зв'язок.

Предметом дослідження є застосування шейдерів та бібліотеки OpenGL для відображення графічних об'єктів.

Аналіз досліджень і публікацій. Розробкою та використанням OpenGL займаються найбільші фірми розробники як обладнання так і програмного забезпечення: Silicon Graphics, Inc., Microsoft, IBM Corporation, Sun Microsystems, Inc., Digital Equipment Corporation (DEC), Evans & Sutherland, Hewlett-Packard Corporation, Intel Corporation та Intergraph Corporation. Програмісти, дизайнери, розробники сайтів використовують можливості бібліотек OpenGL, тому тема, що розглянута автором досить актуальна[5].

Постановка задачі. Побудова тривимірної сцени за допомогою шейдерів та бібліотеки OpenGL, з розробленням наступних можливостей: поглинання та розсіювання світла; накладення текстур; ефект пост-обробки; завантаження тривимірної моделі за допомогою бібліотеки Assimp.

Викладення матеріалу та результати. Основним принципом роботи OpenGL є отримання наборів векторних графічних примітивів у вигляді точок, ліній та багатокутників з наступною математичною обробкою отриманих даних та побудовою растрової картини на екрані і/або в пам'яті. Векторні трансформації та розстеризація виконуються графічним конвеєром (graphics pipeline), який власне являє собою дискретний автомат. Абсолютна більшість команд OpenGL потрапляють в одну з двох груп: або вони додають графічні примітиви на вхід в конвеєр, або конфігурують конвеєр на різне виконання трансформацій.

OpenGL є низькорівневим процедурним API, що змушує програміста диктувати точну послідовність кроків, щоб побудувати результуючу растрову графіку (імперативний підхід). Це є основною відмінністю від дескрипторних підходів, коли вся сцена передається у вигляді структури даних (найчастіше дерева), яке обробляється і будується на екрані.

З одного боку, імперативний підхід вимагає від програміста глибокого знання законів тривимірної графіки та математичних моделей, з іншого боку — дає свободу впровадження різних інновацій.

Програмовані шейдери гнучкі та ефективні. Складні на вигляд поверхні можуть бути візуалізовані за допомогою простих геометричних форм. Наприклад, шейдери можуть бути використані для малювання поверхні із тривимірної керамічної плитки на абсолютно плоскій поверхні.

В програмних графічних рушіях весь ланцюжок рендерингу — від визначення видимих частин сцени до накладення текстури — створювався розробником ігор. У цей ланцюжок можна було включати власні нестандартні відеоефекти. З появою перших відеоакселераторів розробник виявився обмежений тим набором ефектів, який закладений в апаратне забезпечення.

Шейдери були розроблені для того, щоб мати змогу відтворювати складні відеоефекти з атомарних операцій. Попередниками шейдерів були процедурна генерація текстур (що широко застосовувалася в Unreal для створення анімованих текстур води і вогню) і мультитекстурування. Але і ці механізми не забезпечують такої гнучкості, як шейдери.

Задачі створення програмного забезпечення візуалізації тривимірної сцени були поставлені наступні вимоги:

- зрозумілий інтерфейс та керування між користувачем та програмним забезпеченням;
- використання актуальних можливостей системи;
- відображення результату роботи програми у вікні, що створене за допомогою WinAPI;
- завантаження моделі будь-якого формату у програму та її візуалізація;
- підтримка зміни ефектів пост-обробки у режимі роботи програми;
- достовірна робота світла із геометриєю сцени.

Вихідна інформація представляє собою результат роботи об'єкту OpenGL framebuffer, який перед передачею у контекст вікна WinAPI було згладжено за допомогою технології MSAA для більш привабливого зображення.

В якості вхідної інформації у програму надходять різноманітні за форматом файли.

Для моделей у даному додатку використовується формат .obj, формат файлу опису геометрії, вперше створений в Wavefront Technologies для їх анімаційного пакету Advanced Visualizer. Це відкритий файловий формат, і він був прийнятий іншими розробниками 3d редакторів, як стандартний. Формат OBJ дуже простий, і задає тільки геометрію об'єкта, а якщо конкретно, то координати кожної вершини, її текстурні координати, нормалі, і грані, що задаються списками вершин багатокутників. Вершини многокутників за замовчуванням задаються проти годинникової стрілки, роблячи явне задання нормалей необов'язковим. Один файл OBJ може посилатись на кілька зовнішніх матеріалів.

Для зображень використовуються всі формати, що підтримує бібліотека SOIL(BMP, JPEG, PNG...).

Далі буде наведено загальну структуру об'єктів додатку, їх використання та властивості.

У програмі реалізовано аналог C# «LayoutManager», функціями якого є динамічна зміна макету вікна, зміна розмірів кожного із дочірніх вікон в залежності від розмірів інших, а також параметрів структур цього класу.

Створений клас «Element» містить структури, такі як: якорь, стикування, орієнтація, також вектор таких же класів «Element» а також вказівку на батька, для того щоб створити зв'язок по типу колекції List.

Таким чином при зміні розмірів одного із вікон посиляється повідомлення головному вікну, котре є батьком, в якому робляться перерахунки в залежності від заповнених структур, наприклад відносна чи абсолютна ширина вікна, чи горизонтальна, чи вертикальна орієнтація.

У програмі реалізована клас-обгортка «OpenGLWrapper», котрий потрібен для полегшення роботи програміста із функціями та об'єктами OpenGL. За допомогою цього класу вдалося відділити реалізацію вікон на WinAPI та роботу із шейдерами і OpenGL.

У програмі було реалізовано два класи «Mesh» та «Model», завдання першого є налаштування текстур полігональної сітки «або меша» та генерація масивів вершин та буферів для відображення. Завданням другого є автоматизація роботи із бібліотекою Assimp, тобто завантаження моделі, отримання матеріалів, завантаження текстур із файлів, заповнення структур вершин, нормалей, а також функція відтворення моделі у вікні.

Також реалізовано клас «Shader», призначенням якого є завантаження текстового документу, отримання та компіляція даних та лінування до програмного об'єкту для подальшого використання.

Реалізовано клас «Camera», що відокремив значну частину роботи із переміщенням і трансформацією камери.

У класі «Object» реалізовано клас «GamePool», «SkyBox», «FrameBuffer», «Object3D».

Перший клас реалізований для зручного розміщення тривимірних об'єктів, їх видалення та доступ до них із головного класу програми.

Другий клас відповідає за створення кубу, що імплементує створення Cubemap-у, тобто кубу, що склеює шість послідовних текстур, імітуючи навколишнє середовище.

Третій клас відповідає за ефекти пост-обробки, в даному програмному забезпеченні створено роботу із MSAA згладжуванням об'єктів для відображення більш гладких поверхонь, ефект «чорно-білого екрану», інверсія кольорів.

Четвертий клас, в ньому реалізовано створення примітивів по типу куба чи сфери.

Шейдери надали потужний засіб для реалізації складних тривимірних ефектів, postprocessing-ефектів і збільшення загальної швидкодії. Хоча якісне використання шейдерів - складне завдання, що вимагає наявності безлічі додаткових знань, переваги використання шейдерів помітно перевищують недоліки.

Для аналізу механізму роботи шейдерів наведено декілька алгоритмів, за якими вони функціонують. Наприклад, рис. 1.

Робота шейдеру вершин та фрагментного шейдеру для роботи зі пост-обробкою

Для цієї задачі необхідно передати булеві змінні до шейдеру та змінити стандартний фреймбуфер на свій. Для можливості застосування технології MSAA було створено два FrameBuffer-и, один для згладжування, а другий як контейнер кольорів для передачі у шейдер, адже шейдер не може прийняти фреймбуфер згладжуваного типу.

Для передачі інформації с MSAA буферу необхідно зробити такі дії:

```
glBindFramebuffer(GL_READ_FRAMEBUFFER, frame->framebuffer); //Прочитати Буфер;
glBindFramebuffer(GL_DRAW_FRAMEBUFFER, frame->nonmsFramebuffer); //Відкрити
буфер для запису;
glBlitFramebuffer(0, 0, screen.cx, screen.cy, 0, 0, screen.cx, screen.cy,
GL_COLOR_BUFFER_BIT, GL_NEAREST); //Перекинути інформацію.
```

Крім того:

отримати текст шейдерів;

скопіювати шейдери;

розпочати використання програми, до якої під'єднано шейдери;

заповнити uniform-змінні та атрибути шейдеру вершин необхідними даними; Для цього:

передати матриці проєкцій, виду та моделі;

передати позицію вершини до шейдера вершин;

передати нормаль до шейдера вершин;

передати координати текстури до шейдера вершин.

заповнити uniform-змінні та атрибути шейдеру геометрії необхідними даними;

передати позицію камери;

передати Sampler2D текстури;

передати Cubemap;

передати структури направленої світла, типу ліхтарика та місцевого світла.

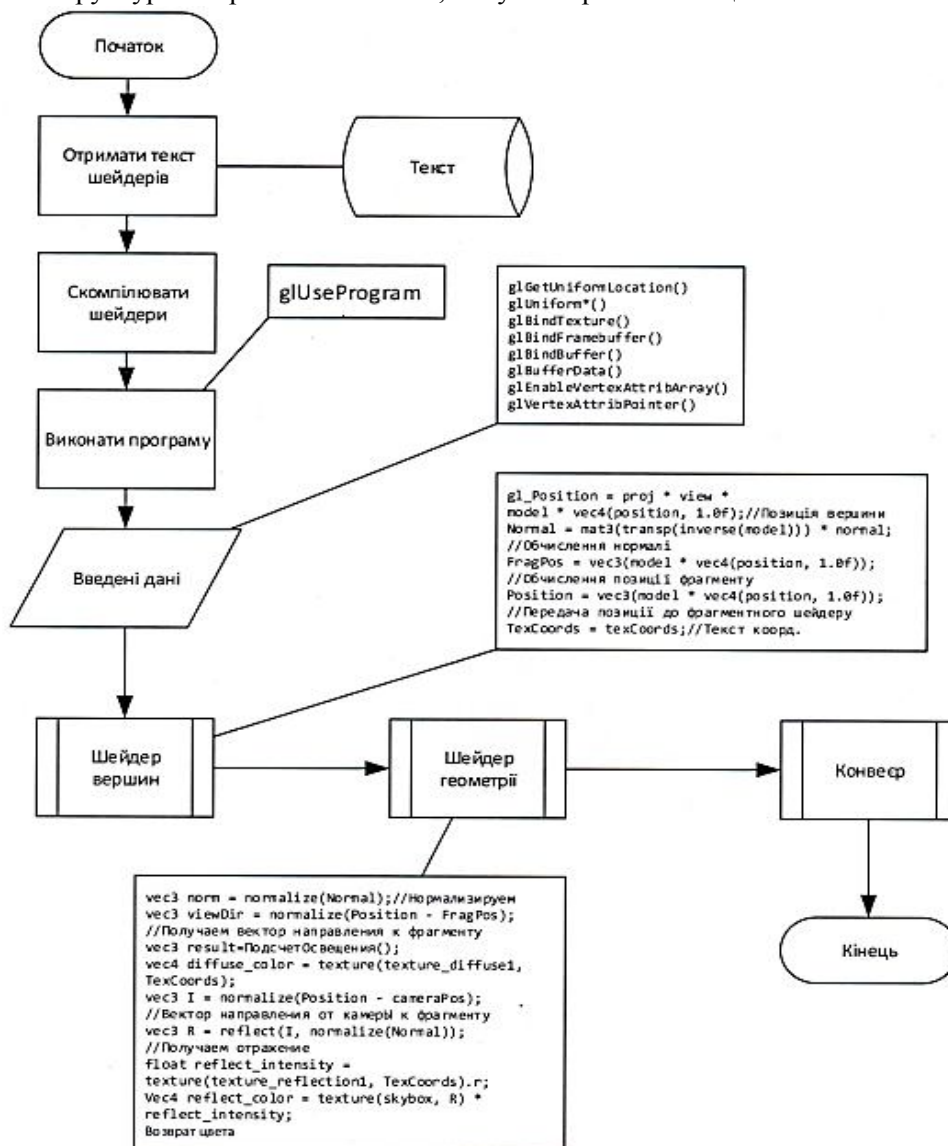


Рис.1. Блок-схема алгоритму роботи шейдерів вершин та геометрії

Програма обчислює прийняті дані та обмінюється між шейдерами згідно до OpenGL конвеєру;

виведення результату на екран.

Схема алгоритму роботи програми приведена на рис. 2.

OpenGL має продуману архітектуру і досить простий процедурний інтерфейс. Незважаючи на це, за допомогою цієї графічної бібліотеки можна створювати складні і потужні програмні комплекси, витрачаючи при цьому мінімальний час в порівнянні з іншими графічними бібліотеками.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Традиційно підтримка тривимірної графіки обмежувалася високопродуктивними комп'ютерами або спеціалізованими ігровими консолями, а її програмування вимагало застосування складних алгоритмів. Однак, завдяки зростанню продуктивності персональних комп'ютерів і розширенню можливостей браузерів стало можливим створення і відображення тривимірної графіки із застосуванням нових технологій [6]. В статті представлено використання сучасних технологій підтримки тривимірної графіки. Як результат, було задіяні наступні технології для реалізації додатку:

здіяні нові ступені обробки шейдерів, що дозволяє перенести обробку теселяції з центрального процесора на GPU;

підтримка вибірових фрагментних шейдерів (per-sample fragment shaders) і програмованих фрагментних шейдерів вхідних позицій для збільшення якості рендерінга і гнучкості в управлінні згладжуванням;

промальовування даних, що згенеровані OpenGL або такими зовнішніми API, як OpenCL, без участі центрального процесора;

шейдерні підпрограми допоможуть значно збільшити гнучкість написання програм;

розділення стану текстур і текстурованих даних через додавання нового типу даних під назвою «об'єкти семплів»;

64-бітова подвійна точність з плаваючою комою операцій з шейдерами і введенням-виведенням для збільшення точності і якості рендерінга;

збільшення продуктивності, включаючи шейдери геометрії зразка, масивів зразка і нових запитів до таймера.

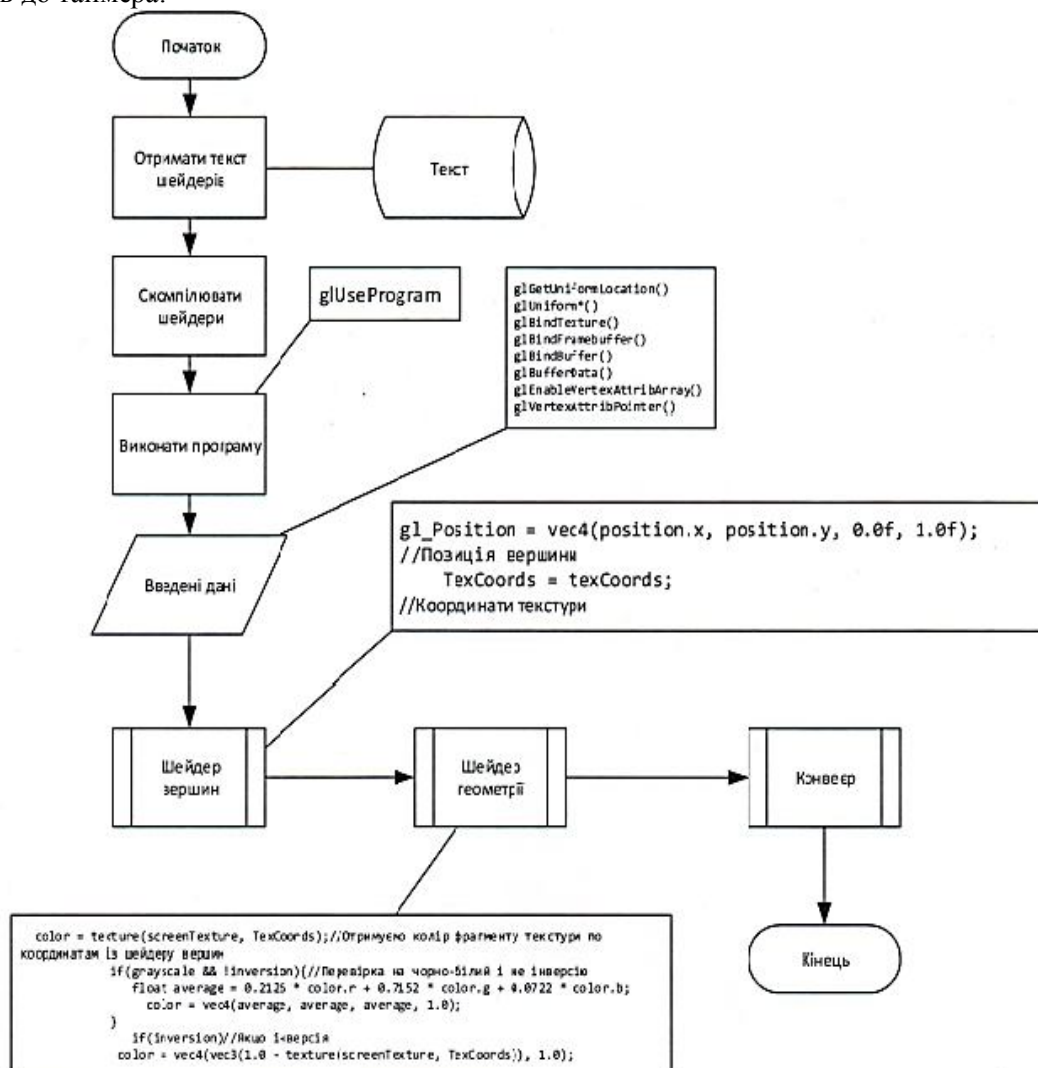


Рис. 2. Блок-схема алгоритму роботи шейдерів вершин та геометрії для створення пост-обробки

Список літератури

1. Боресков А. В. Расширения OpenGL. — БХВ-Петербург, 2005. — 688с.
2. Боресков Алексей. Разработка и отладка шейдеров. — БХВ-Петербург, 2006. — 488с.
3. Туманов Владислав Застосування сучасних засобів OpenGL в QT. 2016 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://iconfs.net/infocom2016/>
4. OpenGLintroduction [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://open.gl>
5. <https://3dnews.ru/169184>
6. Коичи Мацуда, Роджер Ли. WebGL: программирование трехмерной графики. /Пер. с англ. Киселев А.Н.-М.: ДМК Пресс, 2015.- 494с.
7. Себастьян Сент-Лаурент. Шейдеры для программистов игр и художников [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.netlib.narod.ru/library/book0053/index.htm>

8. Вольф Д. OpenGL 4. Язык шейдеров. Книга рецептов. М.: ДМК Пресс, 2015. – 368с.
9. Горнаков Станислав. Инструментальные средства программирования и отладки шейдеров в DirectX и OpenGL. — БХВ-Петербург, 2005. – 256с.
10. Дэн Гинсбург. OpenGL ES 3.0. Руководство разработчика. М.: ДМК Пресс, 2014.- 449с.

Рукопис подано до редакції 04.04.2019

УДК 581.524.3

К.В. ГЕРАСИМОВА, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет
В.В. ТИХОСТУП, ст. викладач, Криворізький коледж Національного авіаційного університету

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВОДИ ШЛАМОСХОВИЩ КРИВОРІЗЬКОГО РЕГІОНУ ТА ЇХ ЗВ'ЯЗОК З ФЛОРИСТИЧНОЮ СТРУКТУРОЮ ПРИБЕРЕЖНОЇ РОСЛИННОСТІ

Мета. Вивчення флористичної структури рослинного покриву шламосховищ Криворізького регіону; визначення екологічної якості води, як формують компоненту прибережних рослинних угруповань.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети використовувались фізико-хімічні методи визначення складу води на вміст металів та йонів. Екологічна оцінка якості води в шламосховищах визначалася на основі загальновідомої класифікації А. А. Алексіна. При вивченні складу рослинних угруповань використовувались загальноприйняті методи класифікації геоботанічних описів. При визначенні видового складу рослинного покриву використовувався «Визначник вищих рослин України».

Наукова новизна. Встановлено, що за тривалий час склалися певні біогеоценотичні відносини між елементами техногенно-змінених ландшафтних систем. Серед них важливу роль відіграють прибережні рослинні угруповання, які ще дотепер недостатньо вивчені дослідниками. Визначено, що склад води є формують компонентом прибережного рослинного покриву досліджуваних об'єктів. Проведено фізико-хімічний аналіз води шламосховищ та виявлено прямий зв'язок показників води з флористичною структурою прибережної рослинності.

Практична значимість. Отримані результати досліджень дозволяють зробити розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод шламосховищ і мають важливе практичне значення для інженерів-екологів. Ці показники дозволяють правильно обирати методи очищення стічних вод з урахуванням рослинних угруповань, ступеня очищення і рН-стану водного джерела. В техногенних умовах особливо посилюється необхідність аналізу гідробіологічних процесів, що дає можливість прогнозувати зміни якості води і подальший стан існування гідробіоти для попередження небезпечних екологічних наслідків. Ефективне проведення такого аналізу можливе за умови комплексного підходу, а саме – застосування гідрохімічних і біоіндикаційних методів. Вони дозволяють діагностувати зміни екологічного стану природного середовища.

Результати. Запропоновано таксономічну, екологічну, біоморфичну та географічну структуру рослинних угруповань шламосховищ Криворізького регіону; сформовані типи рослинних угруповань за гідрохімічними показниками складу води.

Ключові слова: шламосховище, аналіз води, прибережна рослинність, екологічна оцінка.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-159-164

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Упродовж багатьох років багатства надр Криворізького регіону інтенсивно споживались, що призвело до появи ландшафтно-змінених техногенних систем. Процес деградації природних екосистем є наслідком порушення екологічної рівноваги і призводить до руйнації навколишнього середовища. Гірничо-збагачувальні комбінати та шахти є джерелами забруднення довкілля. До їх складу входять шламосховища, які тільки на Криворіжжі займають площу понад 7600 га і є потужними джерелами пилоутворення, спричиняють засолення значних територій, змінюють їх гідрологічний режим [3, 4, 9]. Основними елементами шламосховищ є огорожувальні споруди (дамби), відкоси наміву, ставки освітлення води, на яких під впливом техногенних систем формується гідрофітна, гігрофітна та мезофітна рослинність [2, 3, 5]. За тривалий час склалися певні біогеоценотичні відносини між елементами техногенно-змінених ландшафтних систем, серед яких важливу роль відіграють прибережні рослинні угруповання, які досі ще недостатньо вивчені. Метою даної роботи є вивчення флористичної структури прибережної рослинності, а також екологічна оцінка води шламосховищ, як формують компоненту рослинних угруповань.

Аналіз досліджень і публікацій. Роботи геоботанічного напрямку лише побіжно торкаються особливостей прибережної рослинності [6-9]. Детально опрацьовано синтаксономію лише деяких об'єктів, які знаходяться у полі зору наших досліджень – рекультивованих плесів шламосховища Північного ГЗК. Класифікаційна схема їх включає три класи, три порядки та чотири союзи, два з яких – *Achillion nobilis* і *Phragmition australis* описані як нові [1, 10-12].

Постановка задачі. Дослідити склад води Криворізьких шламосховищ; дати екологічну оцінку її якості; зробити аналіз рослинного покриву; встановити залежність між гідрохімічними показниками води і формуванням прибережної рослинності.

Викладення матеріалу та результати. Досліджувані об'єкти:

1. Шламосховище Північного ГЗК, експлуатується з 1963 року. Загальна площа – 1750 га³. До шламосховища скидаються кар'єрні води (2,5 млн. м³/рік), мінералізовані шахтні води (5,5 млн. м³/рік), господарчо-побутові умовно очищені стоки (13,0 млн. м³/рік), стоки очисних споруд ПівнГЗК (36,15 тис. м³/добу). Крім цього, до шламосховища потрапляють поверхневі фільтраційні води із побудованих навколо дренажних споруд.

2. Шламосховище Центрального ГЗК, експлуатується з 1961 року. Загальна площа – 1706 га. До шламосховища скидають кар'єрні води (1,66 млн. м³/рік), поверхневі фільтраційні води (3,5 млн. м³/рік), що надходять з дренажних систем, побутові стоки смт Петрове. Для поповнення втрат у системі оборотного водопостачання закачується вода з р. Саксагань (1,5 млн м³/рік).

3. Шламосховище шахти «Гігант» Дзержинського рудоуправління м. Кривого Рогу. Експлуатується з 1953 року. Площа водозбору водосховища 199,8 км², середньорічний стік – 61,8 млн м³.

4. Об'єднане шламосховище Південного ГЗК та ГЗК «Арселор-Міталл Кривий Ріг», розміщене на водорозділі (район балок Грушеватой і Вовчище). Загальна площа – 713 га.

5. Шламосховище Інгулецького ГЗК, розташоване поблизу с. Миколаївка. Експлуатується з 1965 року, площа – 553,2 га. Об'єм накопичених шламів 296 млн. м³.

Нами проведені дослідження складу води цих шламосховищ і зроблено оцінку її якості на основі загальноприйнятої класифікації О.А. Алекіна, що поєднує принцип поділу хімічного складу води за основними іонами з розподілом по кількісному співвідношенню між ними. Результати досліджень наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Якісний склад води шламосховищ Криворізького регіону

Показники	Об'єкт				
	1	2	3	4	5
pH	6,24	6,37	6,45	6,29	6,82
HCO ₃ ⁻ , мг-екв	0,006	0,050	0,052	0,022	0,054
Cl ⁻ , мг-екв	3,0158	0,0384	3,6634	1,4876	0,6072
Ca ²⁺ , *10 ⁻³ мг-екв	5,0898	5,3952	8,0419	4,5808	5,2934
Mg ²⁺ , *10 ⁻³ мг-екв	11,0	8,0	8,2	9,9	3,9
SO ₄ ²⁻ , *10 ⁻² мг-екв	1,5	4,4	1,1	1,2	1,1
Na ⁺ , мг-екв	3,0206	0,0914	3,7248	1,5201	0,6521
Клас води	III клас хлоридних вод натрієвої групи	III клас хлоридних вод натрієвої групи	III клас хлоридних вод натрієвої групи	III клас хлоридних вод натрієвої групи	III клас хлоридних вод натрієвої групи
Тип води	IV тип	IV тип	IV тип	IV тип	IV тип

Об'єкти: 1 – шламосховище Північного ГЗК, 2 – шламосховище Центрального ГЗК, 3 – шламосховище шахти «Гігант» Дзержинського рудоуправління м. Кривого Рогу, 4 – об'єднане шламосховище Південного ГЗК та ГЗК «Арселор-Міталл Кривий Ріг», 5 – шламосховище Інгулецького ГЗК

Основний показник якості води – водневий показник (pH), коливається в межах від 6,24 до 6,82, що відповідає діапазону від слабкокислого до кислого середовища. Лужність води (сума вмісту в воді гідратів і аніонів слабких кислот) коливається в межах від 0,006 до 0,05 мг-екв. Йони хлору у водоймах містяться в межах концентрацій 0,0384 - 3,6634 мг-екв, що дало можливість досліджуваним водойми класифікувати як клас хлоридних вод. Сульфат-йони досліджу-

ваних об'єктів коливаються від 0,000108 до 0,015 мг-екв., що відповідає граничній межі його концентрацій. Проте кількість їх значно нижча, ніж йонів хлору, тому жоден досліджуваний об'єкт не визначений по класифікації за сульфатним класом. Йони натрію у водойми потрапляють за рахунок розчинення гірських порід, а саме солей натрієвої групи, показники їх коливаються у межах від 0,0914 до 3,7248 мг-екв. Калій зустрічається у водах дуже рідко, оскільки він краще за натрій поглинається ґрунтом та рослинами. Вміст кальцію (0,0045808 – 0,0080419 мг-екв) та магнію (0,0039 – 0,011 мг-екв) характеризує всі досліджені об'єкти як водойми з підвищеною жорсткістю води.

Комплексний аналіз результатів дає підстави класифікувати води всіх досліджених шламосховищ як води IV типу (болотні, шахтні, вулканічні або води, що дуже забруднені промисловими стічними водами). Високомінералізована вода, з підвищеною жорсткістю, сформувала рослинні угруповання, що мають цілком визначену таксономічну, екологічну, біоморфологічну, еколого-ценотичну та географічну структури [1].

Нами проведено аналіз таксономічної структури рослинних угруповань (табл. 2).

Таблиця 2
Таксономічна структура рослинних угруповань
шламосховищ Криворізького регіону

Таксони	Об'єкт				
	1	2	3	4	5
Вид	56	10	18	9	8
Рід	50	10	16	9	8
Родини	19	4	7	5	4
Відношення					
Вид/родина	2,94	2,50	2,57	1,80	2,00
Рід/родина	2,63	2,50	2,28	1,80	2,00
Вид/рід	1,12	1,00	1,12	1,00	1,00

Об'єкти: 1 – шламосховище Північного ГЗК, 2 – шламосховище Центрального ГЗК, 3 – шламосховище шахти «Гігант» Дзержинського рудоуправління, 4 – об'єднане шламосховище Південного ГЗК та ГЗК «Арселор-Міталл Кривий Ріг», 5 – шламосховище Інгулецького ГЗК

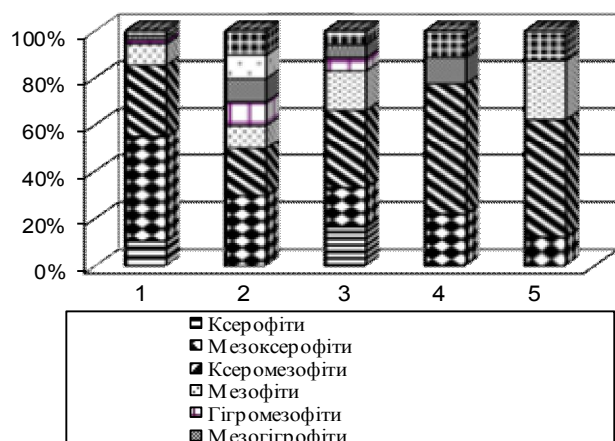
утворюють екологічні ряди. Угруповання 3-го об'єкту мають середнє відношення вид/родина, що відображає специфіку зменшення антропогенного впливу.

Таким чином, на цих розширеннях формуються угруповання, які мають досить широке відношення вид/родина. Особливістю таксономічної структури угруповань 2-го, 4-го і 5-го об'єктів є звужені відношення вид/родина і рід/родина, що зумовлено потужним впливом техногенних систем. Відношення вид/рід в угрупованнях всіх об'єктів мають майже однакові показники, оскільки особливостями їх формування є однакові екологічні умови та антропогенний вплив.

Екологічна структура рослинності характеризується відношенням до рівня зволоження. Нами проведено аналіз екологічного спектру угруповань рослин за водним режимом (рис. 1).

На всіх об'єктах переважають ксеромезофіти та мезоксерофіти, що характерно для прибережних угруповань. Мезогідрофіти є ознакою заболоченості всіх ділянок, але найбільше їх спостерігається на 4-й ділянці, де формуються рослинні угруповання в зоні об'єкту 4. Гідрофіти є лише на 2-му об'єкті, мезогідрофіти зустрічаються на всіх об'єктах і найбільші їх відсотки спостерігаються на 5-му, 4-му та 2-му об'єкті, що пов'язано з більш сприятливими і близькими умовами. Водночас 3-й і 1-й об'єкт мають значно нижчі показники, що пояснюється меншим заболоченням цих ділянок.

Видове багатство є найбільш простою і, водночас, об'єктивною характеристикою рослинних угруповань. Найбільше значення цього показника спостерігається на 1-му об'єкті, що, на нашу думку, зумовлено впливом неподалік розташованого Криворізького ботанічного саду, з якого протягом останніх десятиліть поступав додатковий насіннєвий ресурс за типом ентомофільного запилення, а також рекультиваційні заходи на плесах і дамбах шламосховища. Різка зміна цих умов на 2-му, 4-му і 5-му об'єктах зумовлює суттєве зменшення видового багатства і пояснюється схожими екологічними умовами. На 3-му об'єкті цей показник має середнє значення, що зумовлено зрошенням шахтними водами і меншим антропогенним навантаженням. На 1-му об'єкті відзначено також найбільше відношення вид/родина, що зумовлено різноманітними екологічними нішами видів, які



Таблиця 3
Біоморфічна структура рослинних угруповань (участь, %)

Ознаки життєвої форми	Об'єкт				
	1	2	3	4	5
За загальним габітусом та тривалістю життєвого циклу					
Деревні рослини	10,7	-	-	11,1	-
Напівдеревні рослини	-	-	5,6	-	-
Багаторічники	51,8	60	61	88,9	50
Дворічники	16,1	-	5,6	-	-
Однорічники	21,4	40	27,8	-	50
За темпами вегетативного розмноження					
Вегетативно рухливі	33,9	50	44,5	44,5	50
Вегетативно малорухливі	5,4	-	11,1	22,2	12,5
Вегетативно нерухливі	60,7	50	44,4	33,3	37,5
За формою кореневих систем					
Стрижнева	78,6	70	61,1	55,6	50
Мичковата	14,3	-	27,8	11,1	37,5
Пучкокоренева	7,1	30	11,1	33,3	12,5
За структурою підземних пагонів					
Каудексові	28,6	10	22,2	11,1	12,5
Короткокореневищні	7,1	10	5,6	22,2	-
Довгокореневищні	21,4	40	38,8	44,5	37,5
Без утворень	39,3	40	27,8	22,2	37,5
Щільнодерновинні	1,8	-	5,6	-	-
Пухкодерновинні	1,8	-	-	-	12,5
За типом запилення					
Анемофілія	28,6	70	61,1	33,3	87,5
Ентомофілія	71,4	30	38,9	66,7	12,5
За адаптацією рослин до світла					
Геліофіти	61,8	80	72,2	66,7	25
Сціогеліофіти	38,2	20	27,8	33,3	75

Об'єкти: 1 – шламосховище Північного ГЗК, 2 – шламосховище Центрального ГЗК, 3 – шламосховище шахти «Гігант» Держинського рудоуправління, 4 – об'єднане шламосховище Південного ГЗК та ГЗК «Арселор-Міталл Кривий Ріг», 5 – шламосховище Інгулецького ГЗК

показники на всіх досліджуваних об'єктах, крім 5-го. Лише на 5-му об'єкті за адаптацією рослин до світла відмічено високі показники видів сціогеліофітів.

В розподілі за біологічними типами Раункієра (рис. 2) в угрупованнях переважають гемікриптофіти і геофіти, значна участь терофітів. На 2-му та 4-му об'єктах зростає частка геліофітів, що зумовлено зосередженням рослинних угруповань під техногенним впливом та ущільненням ґрунту. Незначна участь фанерофітів спостерігається на 1-му та 4-му об'єктах, хамефітів - на 1-му та 3-му об'єктах.

Рис.1. Екологічний спектр рослинних угруповань за водним режимом (участь,%): 1 – шламосховище Північного ГЗК, 2 – шламосховище Центрального ГЗК, 3 – шламосховище шахти «Гігант» Держинського рудоуправління, 4 – об'єднане шламосховище Південного ГЗК та ГЗК «Арселор-Міталл Кривий Ріг», 5 – шламосховище Інгулецького ГЗК

Нами проведено аналіз біоморфічної структури рослинних угруповань (табл. 3).

Основу біоморфічної структури за загальним габітусом та тривалістю життєвого циклу складають напівдеревні рослини - багаторічники, вони є домінантами, субдомінанти – однорічники. Дворічники спостерігаються лише на 1-му та 3-му об'єктах. Зростання участі деревних рослин відмічено на 1-му та 4-му об'єктах. За темпами вегетативного розмноження переважають рослини вегетативно рухливі та вегетативно нерухливі, а вегетативно малорухливі мають знижені відсотки. Види зі стрижневою кореневою системою домінують в рослинних угрупованнях всіх досліджуваних об'єктів, що зумовлено однотипним середовищем існування, а види з мичковою кореневою системою – в угрупованнях на 3-му та 5-му об'єктах. Участь пучкокорневих систем простежується на всіх п'яти об'єктах, але найбільший відсоток таких видів на 2-му і 4-му об'єктах. За структурою підземних пагонів довгокореневищні види і види без утворень мають однакове значення (об'єкти 2, 5), суттєво переважають довгокореневищні види (об'єкти 3, 4), і навпаки, щільнодерновинні та пухкодерновинні види мають незначні відсотки на об'єктах 1, 3 і 5. Каудексові види мають середні показники, на 1-му та 3-му об'єктах вони суттєво збільшені. За типом запилення домінантом є ентомофілія на 1-му та 4-му об'єктах, а субдомінантом анемофілія, і навпаки, на 2-му, 3-му та 5-му об'єктах домінантним типом запилення є анемофілія, а ентомофілія – субдомінантом. Переважна більшість геліофітів спостерігається в напрямку з півдня на північ, де відзначені великі

Основу еколого-ценотичної структури (рис. 3) складають рудеранти, при значній участі степантів. Участь пратантів досить висока, але зменшується на другій ділянці. Участь галофітів і гелофітів однакова на 1-му, 2-му та 5-му об'єктах. Сильванти та культуранти відмічені лише на 1-му об'єкті.

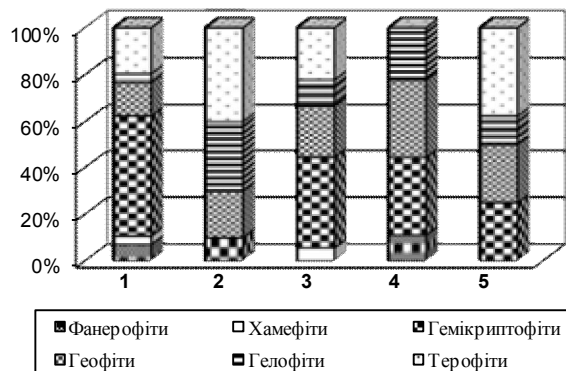


Рис. 2. Спектр розподілу видів за біологічними типами Раункієра (участь, %): 1 – шламосховище Північного ГЗК, 2 – шламосховище Центрального ГЗК, 3 – шламосховище шахти «Гігант» Держинського рудоуправління, 4 – об'єднане шламосховище Південного ГЗК та ГЗК «Арселор-Міталл Кривий Ріг», 5 – шламосховище Інгулецького ГЗК

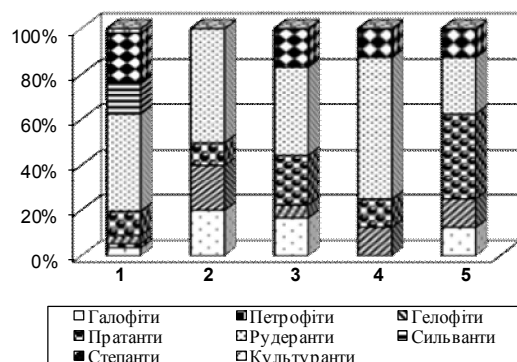


Рис. 3. Спектр розподілу видів за адаптацією до біогеоценозу в цілому (участь, %): 1 – шламосховище Північного ГЗК, 2 – шламосховище Центрального ГЗК, 3 – шламосховище шахти «Гігант» Держинського рудоуправління, 4 – об'єднане шламосховище Південного ГЗК та ГЗК «Арселор-Міталл Кривий Ріг», 5 – шламосховище Інгулецького ГЗК

Основу географічного спектру рослинних угруповань складають види, що належать до центральноєвразійських та групи рослин перехідних ареалів (табл. 4). Сформувались угруповання зі значною участю видів палеарктичного, плурирегіонального, голарктичного та адвентивного географічного елементу. Космополіти та причорноморські види рослинних угруповань зустрічаються рідко і мають незначні відсотки, відповідно на 5-му та 1-му об'єктах.

Таблиця 4

Географічна структура рослинних угруповань (участь, %)

Географічний елемент	Об'єкт				
	1	2	3	4	5
Плурирегіональний	5,4	10	5,6	11,1	12,5
Голарктичний	7,1	-	5,6	22,2	-
Палеарктичний	5,4	10	16,7	-	12,5
Середньоевропейський	3,6	-	-	11,1	-
Центральноевразійський	32,1	40	22,2	33,4	12,5
Причорноморський	5,4	-	-	-	-
Група рослин перехідних ареалів	33,8	40	44,3	11,1	37,5
Адвентивний	3,6	-	-	11,1	12,5
Космополіт	-	-	-	-	12,5

Об'єкти: 1 – шламосховище Північного ГЗК, 2 – шламосховище Центрального ГЗК, 3 – шламосховище шахти «Гігант» Держинського рудоуправління, 4 – об'єднане шламосховище Південного ГЗК та ГЗК «Арселор-Міталл Кривий Ріг», 5 – шламосховище Інгулецького ГЗК

Висновки та напрямок подальших досліджень. Наші дослідження дали змогу провести аналіз води шламосховищ Криворізького регіону і аналіз таксономічної, екологічної, біоморфологічної, еколого-ценотичної та географічної структур прибережної рослинності. Воду всіх досліджених шламосховищ класифіковано як воду IV типу, що дуже забруднена промисловими стічними водами. Наявність високомінералізованої води, з підвищеною жорсткістю, сформувала рослинні угруповання, що мають цілком визначену флористичну структуру. Особливості флористичної структури прибережної та водної рослинності шламосховищ відображають специфіку формування рослинних угруповань в умовах антропогенного впливу.

Отримані результати мають важливе значення щодо вибору методу очистки стічних вод з урахуванням рослинних угруповань, як біоіндикаторів стану водного джерела. В техногенних умовах особливо посилюється необхідність аналізу гідробіологічних процесів, що дають можливість прогнозувати зміни якості води та подальший стан існування гідробіоти для попередження небезпечних екологічних наслідків. Подальший розвиток досліджень та діагностика змін екологічного стану необхідні для продуктивного екологічного менеджменту в Криворізькому регіоні.

Список літератури

1. Определитель высших растений Украины. Фитосоциоцентр. Д.Н. Доброчаева, М.И. Котов, Ю.Н. Прокудин и др. – К.: 2 изд. стереот., 1999. – 548 с.
2. Промислова екологія: Навч. посіб. / С.О. Апостолук, В.С. Джигирей, А.С. Апостолук та ін. – К.: Знання, - 2005. – 474 с.
3. Сметана О. М. Біогеоценотичний покрив ландшафтно-техногенних систем Кривбасу / О. М. Сметана, В.В. Перерва. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2007. – 247 с.
4. Казаков В.Л., Сметана М.Г., Шипунова В.О., Паранько І.С. та ін. Природнича географія Кривбасу: Монографія. - Кривий Ріг: Октан-Принт, 2005. – 151 с.
5. Бересневич П.В., Кузьменко П.К., Неженцева Н.Г. Охрана окружающей среды при эксплуатации хвостовых руделищ. – М.: Недра, 1993. – 128 с.
6. Кучеровський В.В. Конспект флори Правобережного степового Придніпров'я. – Дніпропетровськ: Проспект, 2004. – 292 с.
7. Сметана М. Г. До збереження біорізноманіття на Криворіжжі / М. Г. Сметана // Проблеми екології та екологічної освіти: матеріали IV міжнародної наук.-практ. конференції. – Кривий Ріг, 2005. – С. 27–28.
8. Сметана О.М. Закономірності просторового розподілу ґрунтів та рослинного покриву балкових систем басейну річки Інгулець. Балка Зелена / О.М. Сметана, М.Г. Сметана, О.О. Красова // Інтродукція рослин. – 2009. – №1. – С.80 - 90.
9. Мазур А.Ю. Територіально-структурний аспект моніторингу рослинного покриву елементів екомережі Кривбасу / А.Ю. Мазур, О.М. Сметана, О.О. Красова, Я.В. Таран // Екологія і природокористування. – Вип. 15. – Дніпропетровськ, 2012. – С. 198 – 209.
10. Шапагар А. Г. Техногенні та посттехногенні ландшафти Криворізького залізорудного басейну – раціональне використання, збереження, сталій розвиток / А. Г. Шапагар, О. О. Скрипник, С. М. Сметана // Індустріальна спадщина в культурі і ландшафті. – Кривий Ріг, 2008. – Ч. I. – С. 240–247.
11. Казаков В. Л. Геоморфологічний та екологічний аналіз балки Великої Дубової / В. Л. Казаков, О. О. Калініченко // Географічні дослідження Кривбасу. Фізична географія, економічна і соціальна географія, геоекологія, історична географія, викладання географії: матеріали кафедральних науково-дослідних тем. – Кривий Ріг, 2007. – Вип. 2. – С. 4–15.
12. Казаков В. Л. Антропогенні ландшафти Криворіжжя: історія розвитку, структура / В. Л. Казаков, С. В. Ярков / Географічні дослідження Кривбасу. Фізична географія, економічна і соціальна географія, геоекологія, історична географія, викладання географії: матеріали кафедральних науково-дослідних тем. – Кривий Ріг, 2009. – Вип. 2. – С. 27–35.

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 621.311.214

І.О. СІНЧУК, І.В. КАСАТКІНА, кандидати техн. наук, доценти,
О.В. ДОЗОРЕНКО, Р.І. КРАСНОПОЛЬСЬКИЙ, аспіранти
Криворізький національний університет

НОВИЙ ПОГЛЯД НА ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВОДОВІДЛИВНИХ УСТАНОВОК ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Мета. Метою даної роботи є оцінка можливостей та розробка аспектів теорії підвищення ефективності споживання електричної енергії в умовах вітчизняних залізорудних шахт шляхом використання гідроаккумуляторів на основі головних насосних установок.

Для досягнення поставленої мети проаналізовані напрямки розширення кордонів функціонування головних насосних установок водовідливних систем залізорудних шахт з можливістю використання їх в режимі генераторів електричної енергії (міні гідроакмулюючих електростанцій), що дасть можливість підвищити електроенергоефективність даних видів підприємств.

Це дозволить підприємствам споживати в години максимуму, коли енергія має максимальну ціну, значно менше електроенергії, що дозволить відповідно, знизити, приблизно на 20%, плату за електроенергію. Може бути також поліпшений режим роботи системи електропостачання: знижені втрати напруги і енергії, поліпшений коефіцієнт потужності.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач і аналізу прийнятих схемотехнічних та алгоритмічних рішень використані наступні методи дослідження: методи математичної статистики – для дослідження енергоспоживання водовідливних систем залізорудних шахт; методи розрахунку електричних кіл – для розрахунку потужності гідрогенераторної установки при перетворенні енергії перекачуваної води в електричну енергію.

Наукова новизна. Вперше оцінена техніко-економічна ефективність та запропоновано напрямки підвищення енергоефективного функціонування насосних установок водовідливних систем в умовах вітчизняних залізорудних шахт шляхом використання їх у зворотному гідро-аккумуляторному режимі і тим самим перетворення частини енергії технічної води в електричну енергію для живлення підземних споживачів.

Практична значимість. Застосування гідрогенераторів-акумуляторів, які працюють разом з насосними установками шахт і кар'єрів дозволяє в години максимуму енергосистеми (ранкового і вечірнього) виробляти електроенергію за рахунок енергії води, що спускається з поверхні шахти (кар'єру), поповнюючи водозбірник.

Результати. Покращення ефективності роботи системи енергопостачання залізрудних шахт реструктуризувавши її зі структури централізованого в варіант структури електропостачання з розсередженою генерацією, що дозволить знизити витрати напруги та потужності, підвищити коефіцієнт потужності, а також знизити матеріальні затрати.

Ключові слова: водовідлив, шахта, гідро-акумулятор, перетворення енергії, електроенергоефективність.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-164-170

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Одним із реальних та ефективних заходів для підвищення енергоефективності підприємств є використання особистих паливно-енергетичних ресурсів для автономних джерел живлення енергоприймачів [1-3]. Тобто системи енергопостачання підприємств реструктуризуються з централізованих структур у структури з розсередженою генерацією. Як факт, підкреслюємо, що в Україні в 2016 році лише 0,01% електроенергії вироблялось нетрадиційними джерелами [1]. Проте вже в цьому році, тільки за шість місяців, в Україні за допомогою відновлювальних джерел було вироблено 850 млн. кВт·год електроенергії. Така позитивна динаміка надає поштовх для подальшого розвитку засобів та методів вироблення електроенергії з відновлюваних джерел і перш за все це стосується енергоємних підприємств до яких відносяться гірничо-металургійні виробництва [4-7].

В цьому спрямуванні, одним з нереалізованих напрямків є використання гідроакуючих установок підприємств гірничо-металургійної промисловості. У підземних виробках шахт, кар'єрів та рудників згідно технології ведення робіт та правил техніки безпеки (ПТБ) постійно працюють водовідливні (дренажні) установки. Більше того, водовідливні установки функціонують і на відпрацьованих та законсервованих шахтах у тому ж режимі що і під час видобутку залізрудної сировини [8,9].

Залізрудні підприємства, увійшовши в новий економічний період, дещо змінили своє ставлення до електроенергетичної складової економіки своїх підприємств. Більш того, як відомо, форма розрахунків підприємств за спожиту ЕЕ за цей період змінилася, і істотно, перейшовши від двох ставкових тарифів до одного ставкового з диференційованою оплатою в часи доби [9].

Підприємства намагаються в основному за рахунок організаційних заходів будувати добовий графік електроенергоспоживання таким чином, щоб в нічну зміну працювали найбільш енергоємні агрегати: водовідлив, частково скіпової підйом, тоді як у поза піковий час – інші споживачі.

Найбільше споживання електричної енергії в години «пік» і «напівпік» доводиться на водовідлив, частка якого по окремих шахтах сягає майже 90% в нічні години.

Таким чином, споживання підприємства в години максимуму, коли енергія має максимальну ціну, знижується і, відповідно, знижується плата за електроенергію. Може бути також поліпшений режим роботи системи електропостачання: знижені втрати напруги і енергії, поліпшений коефіцієнт потужності і ін.

Аналіз досліджень і публікацій. Незважаючи на прийняття різнонаправлених заходів в останні роки, проблеми вітчизняних гірничовидобувних підприємств збільшилися [3]. Це пов'язано з тим, що в умовах поступової інтеграції України в Європейські ринкові структури надзвичайно гостро постають питання забезпечення енергоефективних технологій на зазначених вище видах підприємств, що мають можливість підвищити конкурентоспроможність рівня продукції.

Вирішення проблеми зменшення собівартості видобуваної ЗРС, в т. ч. шляхом зменшення енергопотреб на цей процес завжди було і є актуальною [4], тому і привертало до себе увагу наукових дослідників в різні періоди часу [5]. Між тим, рівень актуальності аналізованої проблеми з впливом часу не зменшився, а навпаки, зріс [6].

Пов'язано це з тим фактом, що енергопотреба в загальній собівартості видобутку ЗРС постійно зростає, і в останнє десятиріччя перевищила поріг у 30 % [4].

Нажаль, незважаючи на такий негативний факт, обсяг наукових пошуків у цьому напрямку в Україні за десять років зростання потреб не зріс. В зв'язку з цим вітчизняні залізрудні підприємства виходячи, в основному, зі своїх можливостей нерідко шляхом прийняття апріорно

організаційних заходів, роблять спроби впливу на цей процес [7]. Особливо це стосується питань контролю за рівнем енергоспоживання, зменшення витрат електричної енергії в цехових системах живлення, оптимізації добових навантажень і т. п.

Безумовно, що ці вкрай необхідні напрямки досліджень, стосуються необхідності оцінки потенціалу можливостей застосування в системах енергопостачання даних видів підприємств автономних джерел генерації електроенергії (ЕЕ) на основі відновлюваних джерел [8]. Між тим, потенціальні можливості в структурах технології видобутку ЗРС існують. Це апріорно доведено в ряді відомих досліджень, в тому числі авторів [9].

Постановка завдання. Оцінка і визначення реальних техніко-економічних можливостей підвищення економічної ефективності роботи водовідливних установок діючих та законсервованих залізрудних підприємств за рахунок переведення їх роботи з пікових в економічну зону доби, а також застосування їх в якості гідрогенераторів-акумуляторів, які працюють разом з насосними установками.

Викладення матеріалу та результати. Використання енергії води для створення джерел електричної енергії за остання роки знову стало актуальною темою [10]. Відносно гірничих підприємств, то тут є позитивні моменти в цьому спрямуванні. Перш за все це стосується водовідливних установок шахт і кар'єрів. Водовідливні (дренажні) установки гірничих підприємств за призначенням підрозділяють на головні (центральні), допоміжні (дільничні) і тимчасові (прохідницькі). До головних відносяться установки, призначені для перехоплення і відкачування всього або більшої частини очікуваного припливу води з підземних гірничих виробок на поверхню в спеціальні водосховища технічних вод. Дільничні і прохідницькі забезпечують перекачку води з відповідних дільниць у центральний водовідлив.

З цієї класифікації основними виглядають центральні водовідливні установки, які отримують живлення від мережі напругою 6кВ і являють собою об'єкти значного рівня енергоємності споживання в середньому до 40 % від загально споживаної електроенергії залізрудною шахтою (рис.1).

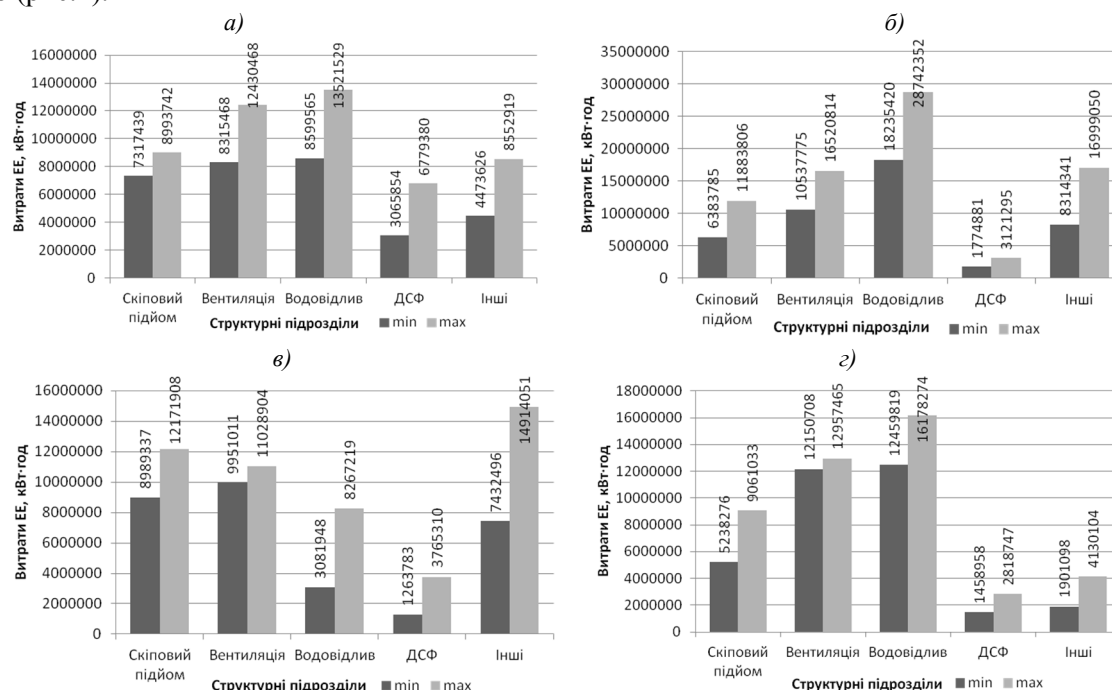


Рис. 1. Коливання споживання електричної енергії (кВт·год) за видами споживачів шахти «Октябрська» за період 2013 – 2018 рік (м. Кривий Ріг): а- шахта «Октябрська»; б- шахта «Родіна»; в- шахта «Гвардійська»; г- шахта «Тернівська»

Головний водовідлив кожної сучасної діючої залізрудної шахти, розміщується на 2-х – 3-х підземних горизонтах і складається з 4-х ступенів, яка включає в себе: водозбірники, насосну камеру, камеру підстанції і т. і. Окрім діючих, водовідливи в повному обсязі функціонують і на непрацюючих (законсервованих) шахтах, що додатково підкреслює необхідність відповідної

уваги до цієї структури як джерела електроспоживання.

В залізрудних шахтах кожна насосна камера водовідливу облаштовується стаціонарними насосними агрегатами, які складаються з: насоса ЦНС-300, електродвигуна, вакуум бака, запірної арматури і т. д.

Кількість насосних агрегатів і їх потужності кожного ступеня на кожній з шахт визначаються проектом.

Встановлені потужності електродвигунів водовідливних установок ряду залізрудних шахт представлені в табл.1.

Таблиця 1
Кількість і потужність електродвигунів на шахтах м. Кривий Ріг

Шахта	Двигуни		
	потужність, кВт	кількість, шт.	загальна встановлена потужність, кВт
Тернівська	800	9	7200
	315	4	1260
	250	4	1000
			Усього 9460
Гвардійська	800	9	7200
	630	3	1890
	500	1	500
	315	3	945
			Усього 10535
Октябрська	800	8	6400
	400	8	3200
			Усього 9600
Родіна	800	20	16000
	560	6	3360
			Усього 19360

Відкачування води з підземних горизонтів рудних шахт здійснюється непротим за структурою і режимом роботи електромеханічним гідроенергетичним комплексом. Ця складність полягає в тому, що, по-перше, водоприток в шахтах і обсяги води для відкачування непостійні в часі, по-друге, що триває так звана «мокра консервація» відпрацьованих шахт, з одного боку, «збійка», тобто з'єднання підземних горизонтів різних шахт в єдиний комплекс, з іншого – поглиблення, тобто зниження рівня ведення гірничих робіт, ставить тактику вирі-

шення завдання вибору раціональних режимів роботи водовідкачуючих насосів як електромеханічних комплексів, вимушених функціонувати в багатокритеріальному алгоритмі з невстановленим прогнозом [7].

Водовідлив – приймач ЕЕ, режими та рівні споживання якого фактично не залежать від обсягів видобутку ЗРС, а в основному від природного рівня притоку підземних вод. Як видно з наведених графіків об'єми відкачаної водовідливними установками води не мають стійкої залежності від видобутку залізрудної сировини, а в останні роки при незначному зниженні цих обсягів має місце незначне підвищення водопритоку.

Обсяги водопритоку по залізрудним шахтам Криворізького залізрудного басейну представлені на рис.2.

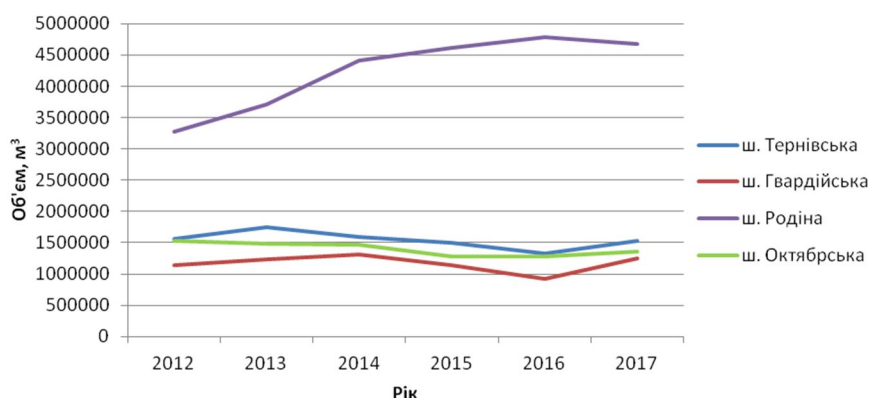


Рис. 2. Обсяги водопритоків по ряду залізрудних шахт

Як свідчить аналіз показників (рис.2), різниця обсягів водопритоків по аналізованим шахтам сягає майже 2-х разів. Це суттєво впливає на обсяги споживання ЕЕ кожного суб'єкта.

Подальші дослідження режимів та параметрів функціонування водовідливних установок залізрудних шахт упродовж років дали можливість зробити висновок, що споживання електроенергії ними не залежить від календарного місяця року і має вірогідний характер.

Для поглиблення аналізу параметрів функціонування водовідливів шахт використовують такий параметр водопритоку, що являє собою співвідношення оберту річного водопритоку (м^3) до обсягу річного видобутку ЗРС (рис.3.).

Як свідчить графік рис.3. цей коефіцієнт не постійний і по окремих шахтах (ш. Родіна) характеризується значним рівнем коливань. Це додаткова складова в виборі параметрів пошуку для вирішення проблеми поліпшення енергоефективності конкретної шахти.

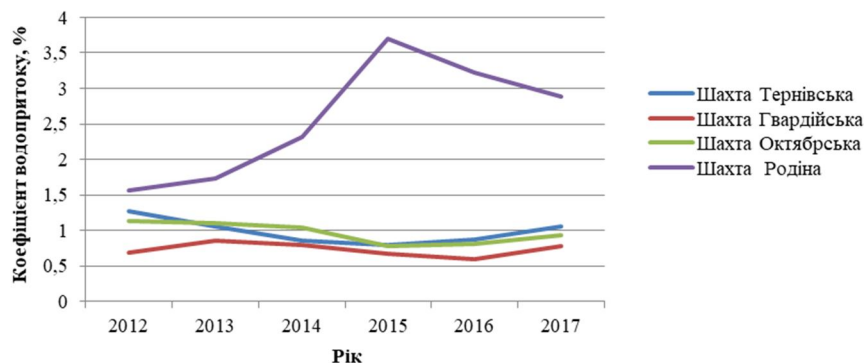


Рис. 3. Коефіцієнт водопритоку по шахтах м. Кривий Ріг

Аналіз роботи водовідливних установок упродовж однієї доби по різних залізрудних шахтах показує, що рівні споживання електроенергії головними водовідливами значно коливаються і стійкої залежності не мають.

Враховуючі значні рівні енергетичних потужностей головних водовідливів залізрудних шахт та їх системоутворюючі, які є значними в загальних обсягах споживання ЕЕ шахтою, логічно виглядає рішення по оптимізації графіків роботи насосних агрегатів, а значить і споживання енергії перш за все в годинах доби – згідно добових тарифів за спожиту енергію.

Цю аксіому підприємства вирішили і продовжують вирішувати в розрізі комплексу заходів з енергозбереження. Більш того, ця превентивна міра дозволила підприємствам отримати значний ефект (біля 18 %) шляхом економії матеріальних затрат за спожиту водовідливом ЕЕ.

Дійсно, аналіз роботи водовідливних установок за добу за останні роки дозволяє зробити висновок, що більшість шахт Криворізького залізрудного басейну роботу водовідливів перепланували з метою збільшення роботи у нічні години у зв'язку з можливістю зниження витрат при розрахунках за електроенергію.

Внаслідок роботи насосних водовідливних установок в нічний зоні, хоча її тривалість становить 7 годин, споживання електричної енергії складає 40-55 %, а в години «пік», тривалістю 6 годин – 22 %. Тобто, водовідлив є одним з найбільших споживачів електричної енергії в години «пік». У нічні години на шахтах згідно реальних можливостей планується наскільки це можливо максимальна по потужності робота водовідливних установок. Як показав аналіз роботи водовідливу по зонах доби за останні роки планові і фактичні показники майже зрівнялися і сягають максимальних значень – 50 %.

Аналіз показує, що не всі насоси працюють постійно, а деякі з загального комплексу включаються раз або кілька разів на добу для відкачування води. Коли водозбірники мають достатній обсяг для накопичення води, то відкачування води здійснюється повністю в нічний час (ш. Гвардійська). Коли цей обсяг не достатній для збору всієї води, то персонал змушений включати водовідливні установки і в денний час (ш. Родіна і ш. Октябрська).

Максимальний ефект досягається, якщо в нічні години вода повністю відкачується, а в інші години доби насоси не включаються. Але для цього необхідно мати достатній обсяг водозбірників (що проблематично згідно технології ведення гірничих робіт) і запас продуктивності насосів.

Між тим, аналіз проведений авторами показав, що і при такому підході не весь потенціал в плані втілення цих мір в шахтах використано.

Більш того, прогноз очікуемого росту обсягів водопритоку по факту збільшення глибини видобутку ЗРС в недалекому майбутньому може мінімізувати ці «організаційні досягнення». Між тим, поки що не проаналізовано і не вичерпана інша природна можливість шахтних водовідливів а саме можливість їх працювати у варіанті оборотних гідроагрегатів. Тобто не тільки

споживати ЕЕ, а й ще виробляти її для потреб підземних приймачів. Як буде доведено далі тут є значні можливості.

В цьому варіанті перш за все змінюється структура системи електропостачання шахти трансформуючись з варіанта централізованого електропостачання в варіант схеми з розсередженою генерацією (з двома незалежними джерелами живлення).

В такому варіанті в часи максимуму енергосистеми (ранкового і вечірнього) генератор виробляє електроенергію за рахунок енергії води, що спускається з поверхні шахти або кар'єру, поповнюючи водозбірник.

Споживання підприємства в години максимуму, коли енергія має максимальну ціну, знижується і відповідно знижується плата за електроенергію. Може бути також поліпшений режим роботи системи електропостачання: знижені втрати напруги і енергії, поліпшений коефіцієнт потужності і ін.

У нічні години, коли ціна електроенергії мінімальна, включаються насоси водовідливу і відкачують воду з водозбірників, що накопичилася як від природного припливу, так і від роботи гідрогенератора.

Розглянемо енергетичні складові процесу.

Потенційна енергія води, що знаходиться на поверхні шахти або кар'єра дорівнює

$$W_{вод} = mgH, \text{ Дж}; \quad (1)$$

$$W_{вод} = mgH / 3,6 \cdot 10^6, \text{ кВт год};$$

$$W_{вод} = V \cdot H / 360, \text{ кВт год};$$

де m - маса води, кг; g - прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$; H - статичний напір або різниця геодезичних відміток, м.

У гідрогенераторній установці енергія води перетворюється в електричну енергію, кВт год.

$$W_{ед} = W_{вод} \cdot \eta_{ген}; \quad (2)$$

де $\eta_{ген}$ - сумарний к.к.д. гідрогенераторної установки $\eta_{ген} = \eta_{турб} \cdot \eta_{сг} \cdot \eta_{тр}$, - відповідно к.к.д. турбіни, синхронного генератора, трубопроводів.

Потужність, що відправляється в мережу в години максимуму $t_{макс}$ (дорівнює 6 годинам), кВт. год

$$P_{ген} = W_{ед} / t_{макс} = W_{ед} / 6, \quad (3)$$

Цю ж кількість води буде потрібно відкачати насосними установками, для чого буде потрібно затратити енергію, кВт.год

$$W_{нас} = W_{вод} / \eta_{нас}, \quad (4)$$

де $\eta_{нас}$ - сумарний к.к.д. насосної установки, $\eta_{нас} = \eta_{дв} \eta_{нас} \eta_{тру}$ - відповідно к.к.д. двигуна, насосу, трубопроводів.

Потужність, споживана з мережі в нічні години $t_{ніч}$ (дорівнює 7 годинам), кВт.год

$$P_{номр} = W_{нас} / t_{ніч} = W_{нас} / 7, \quad (5)$$

Економія в оплаті електроенергії складе, грн.

$$E = W_{ел} \cdot C_{макс} - W_{нас} \cdot C_{ніч}, \quad (6)$$

де $C_{макс}$ - вартість 1 кВт.год в години максимуму енергосистеми; $C_{ніч}$ - вартість 1 кВт.год в нічні години.

З урахуванням складових вираз можна представити, грн.

$$W_{вод} = mgH / 3,6 \cdot 10^6 \cdot (C_{макс} \cdot \eta_{ген} - C_{ніч} \cdot \eta_{нас}), \quad (7)$$

У загальному випадку економія пропорційна масі води і перепаду висоти.

Таким чином, можуть бути використані високонапорні гідрогенератори які використовуються для малих гідроелектростанцій у високогірній місцевості. При незначних перепадах висоти можуть бути використані зворотні установки, які працюють як в генераторному, так і в насосному режимі.

Висновки та напрямки подальших досліджень.

1. Одним з реальних напрямків подальшого підвищення енергоефективності видобутку залізничної сировини є застосування на базі водовідливних установок шахт та кар'єрів оборотних гідроагрегатів (міні гідроакумулюючих електростанцій) – джерел розсередженої генерації

електричної енергії в структурах систем енергопостачання гірничих підприємств. При такому варіанті виробництва електроенергії достатньо для забезпечення живлення енергоємних споживачів залізорудної шахти на протязі годин «ПІК».

2. Для отримання електроенергії в режимі гідроакумуляції в шахтах необхідна установка додаткових водозбірників і реструктуризація системи електропостачання, що не може бути проблемою в досягненні поставленої мети.

Список літератури

1. **Стогній Б.С.** Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року/ Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П., Негодуйко В.О., Пертко П.П., Блінов І.В. – К.: Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. – 275 с.
2. **Сінчук О.М.** Кривбас на межі тисячоліть: шляхи відродження. / **О.М. Сінчук, А.Г. Бажал** – К.: АДЕФ-Україна, 1997. – 31 с.
3. **Сінчук О.М.** Метод оцінювання ефективності споживання електричної енергії залізрудними підприємствами / Сінчук О.М., Сінчук І.О., Берідзе Т.М., Ялова А.М. // Електротехнічні та комп'ютерні системи. Одеський НПУ. – 2013. – С.49-57.
4. **Сінчук І.О.** Відновлювальні та альтернативні джерела енергії: Навчальний посібник/**І.О.Сінчук, С.М.Бойко, О.С.Мельник**// навчальний посібник – Кременчук:Видавництво ПП Щербатих О.В., 2015. – 270 с.
5. **Сінчук О.М.** Факторний простір і дослідження процесу споживання електричної енергії залізрудними підприємствами/ Сінчук О.М., Сінчук І.О., Ялова О.М., Вінник М.А. // Технологический аудит и резервы производства. – Харьков, 2015. - №2/1(22) – С. 48 – 55.
6. **Sinchuk I.O., Kasatkina I.V., Baranovska M.L.** Usage of hydro-accumulating installations in the power supply system of mining companies. Computer Science, Information Technology and Automation – 2017, Вип . 6. – С.1-11.
7. **Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н.** Проблема использования возобновляемых источников энергии в ходе разработки месторождений твёрдых полезных ископаемых, Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2015, №1. С. 88-96.
8. **Сінчук О.М., Філіпп Ю.Б., Сінчук І.О., Касаткіна І.В., Бобріков І.О., Краснополський Р.І.** Створення оборотних гідроагрегатів ГАЕС в структурі систем енергопостачання залізрудних підприємств. **Международный научный журнал "ScienceRise"** Издатель: НПП ЧП «Технологический Центр» DOI: <http://dx.doi.org/10.15587/2313-8416>, SSN 2313-8416 (Online), ISSN 2313-6286 (Print), 2017, с. 29-36.
9. **Сінчук О.М., Сінчук І.О., Касаткіна І.В., Краснополський Р.І.** Водовідливи залізрудних шахт та кар'єрів – база для створення гідроакумуляуючих електростанцій. International research and practice conference "Modern method, innovations, and experience of practical in the field of technical sciences": Conference proceedings, December, 27-28 2017. Radom: Izdevnieciba "Baltija Publishing", 2017. с.63-66.
10. **Сокол С.І.** Створення оборотних гідроагрегатів Дністровської ГАЕС для підвищення енергоефективності об'єднаної енергетичної системи України, **С.І.Сокол, А.К.Царюк, О.Ю.Черкаський, О.О.Линник, Г.І.Іщенко, І.Г.Сирота, В.В.Галат, О.М.Вакуленко, Т.С.Іерусалімова**/Під загальною редакцією члена-кореспондента НАН України, д.т.н., проф. Сокола Е.І. – Харків: - 2017, ФОП Панов А.М., 236 с. ISBN 978-617-7541-18-8.

Рукопис подано до редакції 08.04.2019

УДК [502.175:622.013]:622.012

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

МОНІТОРИНГ ВТРАТ І ЗАСМІЧЕННЯ ВМІСТУ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН НА ГІРНИЧОВИДОБУВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Мета. У роботі розглянуто методи визначення, аналіз і оцінка точності втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у надрах на родовищах залізистих кварцитів Кривбасу.

Методи дослідження. Досліджено особливості комплексності і повноти використання всіх запасів (балансових і забалансових за вмістом якісних показників корисних копалин) і всіх різновидів і типів корисних копалин. Запропоновано варіант із меншими втратами балансово-промислових запасами залізистих кварцитів, який забезпечує виробничу потужність гірничовидобувного підприємства.

Наукова новизна. Визначення наслідків втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у залізрудній масі, так само як і показників вилучення мінливості вмісту якісних показників корисних компонентів у товарній залізрудній масі, значення має вибір методу, який найбільш повно відповідає тому або іншому виду корисних копалин. Втрати балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних компонентів у залізрудній масі враховують не тільки вміст якісних показників корисних копалин, які втрачаються і засмічуючих вміст якісних показників корисних копалин порід, але і де, на якому етапі гірничих робіт ці корисні копалини втрачаються і засмічуються.

Практична значимість. Оцінка середнього значення природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників у надрах і розпушеній залізорудній масі і розпушеній залізорудній масі базується як на дослідженні мінливості характеристики ознак, так і на аналізі геометричних характеристик блоків ділянок рудного тіла і покладу залізорудного родовища, так і параметрів розвідувальних мереж. Для регулярних мереж опробування вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і розпушеній залізорудній масі розрахунки коефіцієнтів проведені заздалегідь для типових конфігурацій взаємного розташування блоку і проб.

Результати. Точність результатів методів визначення впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників у надрах і залізорудній масі не суперечить теорії оптимальної статистичної оцінки. Доведено, що збиток з позицій комплексного освоєння надр і інших природних ресурсів складається із втрат балансово-промислових запасів у контурах розвіданих і забалансових за вмістом якісних показників корисних копалин запасів, що залучаються при розробці запасів основних корисних копалин.

Ключові слова: моніторинг, запаси, блоки, об'ємно-якісні показники, втрати, засмічення.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-170-177

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Основними показниками використання балансово-промислових запасів надр є втрати балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у розпушеній залізорудній масі. Показники використання балансових запасів прийняті офіційно всіма гірничовидобувними підприємствами відповідно до по визначенню, нормуванню, обліку, економічній оцінці втрат балансово-промислових запасів при видобутку, які затверджені в [1]. Нормативно-технічна документація є обов'язковими керівними матеріалами при проектуванні і експлуатації всіх гірничовидобувних підприємств.

Аналіз досліджень і публікацій. Правильне визначення економічних наслідків втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі, як і показників вилучення мінливості вмісту якісних показників корисних компонентів у товарній залізорудній масі, значення має вибір методу, який відповідає тому або іншому виду корисних копалин. Необхідні для розв'язку економічних завдань показники втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних компонентів у товарній залізорудній масі враховують не тільки вміст якісних показників корисних копалин, які втрачаються і засмічують вміст якісних показників корисних копалин порід, але і де, на якому технологічному етапі гірничих робіт ці корисні копалини втрачаються і засмічуються. Облік, оцінка і нормування економічних наслідків втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у товарній залізорудній масі розглядається з деталізацією особливостей розробки ділянок рудного тіла і покладу родовища з урахуванням комплексності використання надр [2].

Постановка завдання. Класифікація втрат балансово-промислових запасів табл. 1, побудована на основі поділу по технологічних процесах і місцях, де відбуваються втрати балансово-промислових запасів [3-5]. Ухваливши її за основу, розглядаються види економічних наслідків втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у розпушеній залізорудній масі стосовно до умов розробки ділянок рудного тіла і покладу залізорудного родовища.

Викладення матеріалу та результати. Якщо при мінливості втрат балансово-промислових запасів зберігається річне погашення балансових запасів при плановому річному видобутку балансово-промислових запасів, то економічні наслідки від втрат балансово-промислових запасів за експлуатаційними витратами (грн./т) визначаються згідно з різницею прибутку, який приходить на 1 т погашених балансових запасів при варіантах розробки, якщо забезпечується різний рівень втрат балансово-промислових запасів

$$Y_{пе} = \frac{1 - P_1}{1 - P_1} \left[u_{д1} - \left(\frac{1 - P_1}{1 - P_1} \right) (a_1 + a_2 + a_3 + a_4) + a_5 \right] - \frac{1 - P_2}{1 - P_2} \left[u_{д2} - \left(\frac{1 - P_2}{1 - P_2} \right) (a_1 + a_2 + a_3 + a_4) + a_5 \right], \quad (1)$$

або

$$c_{д1} = \frac{1 - P_1}{1 - P_1} (a_1 + a_2 + a_3 + a_4) + a_5; \quad c_{д1} = \frac{1 - P_1}{1 - P_1} (a_1 + a_2 + a_3^1 + a_4^1) + a_5; \quad (2)$$

де $c_{д1} = \frac{1-P_1}{1-P_1}(a_1 + a_2 + a_3 + a_4) + a_5$; $c_{д1} = \frac{1-P_1}{1-P_1}(a_1 + a_2 + a_3^1 + a_4^1) + a_5$; P_1, P_1, P_2, P_2 – втрати

балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин при варіантах відповідно з меншими і більшими втратами балансово-промислових запасів, частки одиниць; $u_{д1}$ і $u_{д2}$ – цінність, яка вилучається, з корисних копалин, які видобуті при першому і другому варіантах розробки, грн./т; a_1, a_2, a_3, a_4 – витрати відповідно на погашення геологорозвідувальних робіт; амортизацію основних засобів; підготовчо-нарізні роботи; відбійку, кріплення та погашення виробленого простору при варіанті з меншими втратами балансово-промислових запасів, грн./т; a_5 – витрати на наступні технологічні процеси: випуск, навантаження, доставка, підйом, сортування, усереднення вмісту якісних показників корисних копалин, транспортування до гірничо-збагачувальної фабрики, вилучення вмісту якісних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом на гірничо-збагачувальній фабриці або металургійному заводі, грн./т; a_3 і a_4 – витрати на гірничопідготовчі і нарізні роботи, відбійку і кріплення при варіанті з більшими втратами балансово-промислових запасів, грн./т.

Таблиця 1

Основні експлуатаційні втрати балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин стосовно до умов розробки ділянок рудного тіла і покладу залізрудного родовища

Група	Підгрупа	Вид
I. Втрати балансово-промислових запасів невідокремлених від масиву корисних копалин	I.1. У запобіжних ціликах	I.1.1. Між виймальними ділянками (міжблокові, міжпанельні, бар'єрні, міжкамерні, міжповерхові цілики), у бортах кар'єру I.1.2. У середині виймальної ділянки, блоку, камери, панелі, стовпа, кар'єрного поля масиву твердих корисних копалин I.1.3. Близько пожежних, затоплених або завалених ділянках, геологічних порушень і виробленого простору
	I.2. У масиві від неповноти вилучення	I.2.1. У лежачому, висячому боці, покрівлі, підосві, у боках камер I.2.2. Між виймальними прошарками, у прироблених ділянках I.2.3. Виробки, що обрушилися, завалених, пожежних, затоплених ділянках I.2.4. Близько внутрішньо контурних породах, що залишаються, включень I.2.5. Близько закладного масиву I.2.6. В апофізах при відбійці внаслідок складності покладу I.2.7. На дні кар'єру
II. Втрати балансово-промислових запасів відділених від масиву корисних копалин	II.1. У виробленому просторі	II.1.1. На підосві відкритих камер, від неповноти випуску і навантаження, на уступах кар'єру II.1.2. На днищі блоку і на лежачому боці при системах з обваленням і магазинуванням корисних копалин II.1.3. На днищі камер (підосві), лежачому боці від змішування при випуску із заваленими породами II.1.4. У закладці
	II.2. У місцях обвалень, у завалах, у пожежних, затоплених і прироблених ділянках	II.2.1. У завалах від обвалень покрівлі камер і бортів кар'єрів II.2.2. У виробленому просторі від руйнування днища блоку II.2.3. У заваленому блоці і магазині, на дні кар'єру II.2.4. У прироблених ділянках
	II.3. В очисних і прохідницьких забоях	II.3.1. Від змішування з породами при спільному видобутку II.3.2. Те ж при роздільному видобутку корисних копалин і порід
	II.4. У місцях розвантаження і перевантаження	II.4.1. У підземних виробках II.4.2. На поверхневих складках усереднення вмісту якісних показників корисних копалин, у бункерах II.4.3. У місцях сортування і попередньої концентрації корисних копалин II.4.4. У відвалах пустих порід і забалансових за вмістом якісних показників корисних копалин, у відсортованих породах
	II.5. На транспортних шляхах гірничого підприємства	II.5.1. У підземних виробках, у середині кар'єру II.5.2. На поверхні

При постійній виробничій потужності гірничовидобувного підприємства і незмінному річному погашенні балансово-промислових запасів величина a_4 практично однакова при обох варіантах незалежною від втрат балансово-промислових запасів. У цьому випадку витрати на погашення геологорозвідувальних робіт приймаються однаковими для обох варіантів, а також витрати на амортизацію основних засобів (якщо варіанти не відрізняються за величиною капі-

тальних витрат), тобто $a_1=a_2$. Якщо засмічення за вмістом якісних показників корисних копалин у залізорудній масі однакове при обох варіантах, а різні цінності, які вилучаються ($a_3 \neq a'_3$; $a_4 \neq a'_4$). Вираз (1) приймає вид

$$Y_{BE} = \frac{P_2 - P_1}{1 - P_1} u_{D1} + \left[(a_1 + a_2 + a_3 + a_4) + \frac{1 - P_1}{1 - P_1} a_5 \right] - \left[(a_1 + a_2 + a'_3 + a'_4) + \left(\frac{1 - P_2}{1 - P_1} \right) a_5 \right] = \frac{(P_2 - P_1)}{1 - P_1} (u_{D1} - a_4) + (a_3 - a'_3) + (a_4 - a'_4) \quad (3)$$

За формулами (1)–(3) визначається збиток підприємству від втрат балансово-промислових запасів тільки за експлуатаційними витратами. При зниженні втрат балансово-промислових запасів будуть більше експлуатуватися розкриті та підготовлені запаси. Відповідно зниженню втрат балансово-промислових запасів зменшуються питомі капітальні витрати на проходку розкривних і підготовчих виробок. Пізніше виникає необхідність нових капіталовкладень на розкриття та підготовку нових горизонтів до експлуатації. Якщо питомі капітальні витрати на розкриття і підготовку нових горизонтів

$$K_{num} = \frac{K_2}{A}, \quad (4)$$

де K_2 – річна сума капітальних витрат на розкриття і підготовку нових горизонтів до експлуатації; A – річна виробнича потужність за вмістом якісних показників корисних копалин у залізорудній масі, яка видобувається.

Розрахунок на 1 т балансово-промислових запасів становить

$$K_{num} = \left(\frac{1 - P}{1 - P} \right) \frac{K_2}{A}. \quad (5)$$

Без врахування засмічення вмісту якісних показників корисних копалин різниця при двох варіантах, які відрізняються втратами балансово-промислових запасів, складають збиток від втрат балансово-промислових запасів для гірничовидобувного підприємства за капітальними витратами

$$Y_{nk} = K_{num} = \left(\frac{1}{1 - P_2} - \frac{1}{1 - P_1} \right). \quad (6)$$

При рівному засміченні вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі

$$Y_{nk} = K_{num} = \frac{(P_2 - P_1)(1 - P_1)K_{num}}{(1 - P_1)(1 - P_2)}. \quad (7)$$

Якщо при зниженні втрат балансово-промислових запасів зменшується або збільшується виробнича потужність гірничовидобувного підприємства по видобутку балансово-промислових запасів і вилученні вмісту якісних показників корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом у товарній залізорудній масі, то збиток від втрат балансово-промислових запасів визначається

$$Y_{PE} = \frac{A_1(u_{D1} - c_{D1})}{A_2(u_{D2} - c_{D2})}. \quad (8)$$

$$\text{При } P_1=P_2; \quad u_{D1}=u_{D2}; \quad Y_{PE} = c_{D2} - c_{D1} \frac{A_1}{A_2}. \quad (9)$$

де A_1 і A_2 – виробнича потужність гірничовидобувного підприємства за видобутком балансово-промислових запасів і вилученням вмісту якісних показників корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом у товарній залізорудній масі відповідно при варіантах розробки.

Якщо варіант із меншими втратами балансово-промислових запасів, забезпечує зменшену виробничу потужність гірничовидобувного підприємства за видобутком балансово-промислових запасів, то це впливає на розмір не тільки прямих витрат, але й постійних, що приходяться на одиницю видобутку. Збільшення витрат при зниженні виробничої потужності гірничовидобувного підприємства може бути значним. Так, наприклад, на залізорудних шахтах і кар'єрах, згідно з нормами технологічного проектування [1], ухвалюється, виробнича потужність гірничовидобувного підприємства за гірничими можливостями знижується на 25–35 %. Відповідно до норм технологічного проектування гірничовидобувного підприємства [1] річне зниження гірничих робіт приймається на 15–25 % менше. При цьому буде менше і обумовлена

по гірничим можливостям виробнича потужність гірничовидобувного підприємства. Враховуючи, що залежно від річного видобутку балансово-промислових запасів умовно-постійні витрати становлять у собівартості видобутку від 40 до 80 %, а з урахуванням гірничозбагачувального виробництва ще більше, то можна стверджувати, що за рахунок зменшення масштабів видобутку балансово-промислових запасів собівартість видобутих корисних копалин збільшується в середньому на 10–20 %. Визначення збитку від втрат балансово-промислових запасів, що не враховують цього фактору, приводить до значного завищення результату. Економічні наслідки від втрат балансово-промислових запасів за експлуатаційними витратами (у грн./т) визначаються з виразу

$$Y_{\text{пе}} = \frac{A_1}{A_2} \left[u_{\text{д1}} - c_{\text{д1}} \left(1 + \varphi \frac{A_2 - A_1}{A_2} \right) \right] - (u_{\text{д2}} - c_{\text{д2}}). \quad (10)$$

У виразі (10) $\varphi(A_2 - A_1)/A_2$ означає збільшення умовно-постійних витрат при зниженні виробничої потужності на $(A_2 - A_1)$, т/рік. Капітальні витрати на розкриття і підготовку нових горизонтів можливі значно більші збитки, ніж при постійній виробничій потужності і економія. За капітальними витратами наслідки в цьому випадку визначаються (у грн./т) з виразу

$$Y_{\text{нк}} = A_2 K_{\text{num}} \frac{1}{(1 - \Pi_2)} - A_1 K_{\text{num}} \frac{1}{(1 - \Pi_1)} = \frac{K_{\text{num}}}{A_2} \left(\frac{A_2}{(1 - \Pi_2)} - \frac{A_1}{(1 - \Pi_1)} \right). \quad (11)$$

У *третьому випадку*, коли зниження втрат балансово-промислових запасів залізистих кварцитів дозволить збільшити виробничу потужність підприємства за видобутком і переробкою, при переході на польову підготовку горизонтів і блоків замість залізородної при розробці малопотужних ділень родовища, відмові від залишення горизонтальних залізородних прошарків покрівлі як захисту від обвалень нестійких вміщуючих порід (заміни їх тими або іншими видами кріплення або зміцнення порід), збиток від втрат балансово-промислових запасів залізистих кварцитів для гірничовидобувного підприємства за експлуатаційними витратами визначається за формулою

$$Y_{\text{пе}} = \frac{A_1}{A_2} \left[u_{\text{д1}} - c_{\text{д1}} \left(1 + \varphi \frac{A_2 - A_1}{A_2} \right) \right] - (u_{\text{д2}} - c_{\text{д2}}). \quad (12)$$

У формулі (12) величина $\varphi(A_2 - A_1)/A_2$ характеризується зниженням умовно-постійних витрат при збільшенні виробничої потужності гірничовидобувного підприємства на $(A_1 - A_2)$, т/рік. Стосовно капітальних витрат на розкриття і підготовку нових горизонтів, то від втрат балансово-промислових запасів за капітальними витратами збитку може не бути (вони дорівнюють нулю, коли виробнича потужність збільшується на частку зниження втрат балансово-промислових запасів) і тоді $A_2/(1 - \Pi_2) = A_1/(1 - \Pi_1)$. Якщо виробнича потужність гірничовидобувного підприємства збільшиться меншою мірою, ніж знизяться втрати балансово-промислових запасів, то збиток за капітальними витратами обчислюється з виразу

$$Y_{\text{нк}} = \frac{K_{\text{num}}}{A_2} \left(\frac{A_2}{(1 - \Pi_2)} - \frac{A_1}{(1 - \Pi_1)} \right). \quad (13)$$

Госпрозрахункові наслідки втрат балансово-промислових запасів для підприємства визначаються зменшенням прибутку в результаті мінливості рівня втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у товарній залізородній масі на гірничовидобувному підприємстві. Як галузеві, так і госпрозрахункові наслідки втрат балансово-промислових запасів, згідно [6–8], визначаються розраховуючи на одиницю балансово-промислових запасів, які погашаються. Перелік вихідних показників для розрахунків економічних наслідків втрат балансово-промислових запасів, їх умовне позначення і формули для визначення наведені в табл. 2.

У даній методиці є деякі допущення, зокрема, собівартість видобутку балансово-промислових запасів, їх транспортування і переробка 1 т залізородної маси і собівартість у розрахунку на 1 т корисних копалин погашених балансово-промислових запасів. З обліком цього прийнято, що собівартість видобутку балансово-промислових запасів прямо пропорційна тільки коефіцієнту мінливості вмісту якісних показників корисних копалин. В той же час відомо, що більша частина витрат на погашення геологорозвідувальних робіт, амортизацію і гірничопідготовчі роботи залежить від величини втрат балансово-промислових запасів, а інша частина витрат на

виконання технологічних процесів, починаючи з видобутку балансово-промислових запасів із блоку і закінчуючи магнітною сепарацією, практично зовсім не залежить від засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у товарній залізорудній масі. Друга неточність полягає у тому, що є витрати на 1 т видобутку балансово-промислових запасів, а не на 1 т балансових запасів у надрах. На тому ж допущенні заснована і формула для визначення цінності втрат балансово-промислових запасів. З позиції економічних інтересів окремого гірничовидобувного підприємства оцінка втрат балансово-промислових запасів може бути різною в залежності від того, які можливості для мінливості виробничої потужності по видобутку балансово-промислових запасів є на підприємстві при мінливості втрат балансово-промислових запасів. У різних випадках збиток від втрат балансово-промислових запасів визначається за різними методиками, що враховують відмінності економічних і гірничотехнічних умов.

Таблиця 2

Вихідні показники для розрахунків економічних наслідків втрат балансово-промислових запасів

Вихідні дані	Джерела або формули для отримання вихідних показників
Балансово-промислові запаси, B , т	За даними оцінки балансово-промислових запасів і оконтуренням дільниць рудного тіла і покладу родовища твердих корисних копалин
Вміст якісних показників корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом у балансово-промислових запасах, c , %	За даними оцінки балансово-промислових запасів і оконтуренням дільниць рудного тіла і покладу родовища твердих корисних копалин
Видобуток балансово-промислових запасів, D , т	За даними обліку або за проектом
Вміст якісних показників корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом у видобутих балансово-промислових запасах, a , %	За даними обліку або за проектом
Коефіцієнт мінливості вмісту якісних показників корисних копалин, K_k , частки одиниць	$K_k = \frac{a}{c}; \quad K_k = \frac{C_T}{C_o}; \quad K_k = 1 - P$
Коефіцієнт вилучення вмісту якісних показників корисних копалин з надр, K_n , частки одиниць	$K_n = \frac{Da}{Bc}; \quad K_n = \frac{DC_T}{BCC_o}; \quad K_n = 1 - P$
Валова цінність балансово-промислових запасів, u_o , грн./т	$u_{D2} = 0,01 c u_o; \quad u_o = \sum_1^n c_i u_{oi}$
Коефіцієнт вилучення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі при магнітній сепарації і металургійній переробці, E_{cm} , частки одиниць	За відпускнуою ціною, замикаючими витратами і за фактичними або проектними даними
Собівартість видобутих балансово-промислових запасів, c_d , грн./т	За відпускнуою ціною, замикаючими витратами і за фактичними або проектними даними
Собівартість транспортування видобутих балансово-промислових запасів, c_{mp} , грн./т	За фактичними або проектними даними
Собівартість переробки видобутих балансово-промислових запасів, $c_{пер}$, грн./т	За фактичними або проектними даними
Повна собівартість видобутку балансово-промислових запасів, транспортування і вилучення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі, c_m , грн./т	За фактичними або проектними даними
Витрати на розвідку балансово-промислових запасів, z_p , грн./т	$z_p = \Pi_{op}$ - частка витрат на геологорозвідувальні роботи в оптовій ціні
Питомі капіталовкладення (сумарні на гірничовидобувних та переробних підприємствах), K_y , грн./т	За фактичними або проектними даними

Сьогодні передбачається визначати збиток від втрат балансово-промислових запасів в основному у розрахунку на 1 т погашених балансово-промислових запасів. Такий розрахунок правомірний лише в окремих випадках, коли при різних варіантах видобутку балансово-промислових запасів забезпечується однакове річне зниження робіт і погашення балансово-промислових запасів. При цьому випадку умови порівняння варіантів дотримуються недостатньо. Якщо при двох варіантах забезпечується однакове річне погашення балансово-промислових запасів, а при різних втратах балансово-промислових запасів будуть різними і виробнича потужність гірничовидобувного підприємства, і витрати від виробничої потужності гірничовидобувного підприємства і гірничо-збагачувальної фабрики, то буде відрізнятися тер-

мін відпрацювання Криворізького залізрудного родовища. Порядок розрахунків економічних наслідків втрат балансово-промислових запасів наведений у табл. 3.

Таблиця 3

Порядок розрахунків економічних наслідків втрат балансово-промислових запасів

Показник	Формули для визначення розрахункових показників
Недовидобуток балансово-промислових запасів, т.	$B_n = B(\kappa_{n1} - \kappa_{n2})$
Повна собівартість видобутку, транспортування та переробки у розрахунку на 1 т погашених балансово-промислових запасів, грн.	$c_{\bar{o}} = c_{\text{тов}} - \frac{1}{\kappa_k}$
Цінність 1 т втрачених балансово-промислових запасів, грн.	$\varphi_{n1} = \varphi_{\bar{o}} \varepsilon_1 - c_{\bar{o}1}$
Відшкодування за втрати балансово-промислових запасів на зниження собівартості видобутку, транспортування і вилучення вмісту якісних показників корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом, грн.	$B_{\text{ДПП}} = c_{\text{тов}1} \frac{1}{\kappa_{k1}} - c_{\text{тов}2} \frac{1}{\kappa_{k2}}$
Відшкодування за зниження втрат балансово-промислових запасів при вилученні вмісту якісних показників корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом, грн.	$B_u = B_n = B(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)$
Сумарне відшкодування за втрати балансово-промислових запасів, грн.	$B_n = B_{\text{ДПП}} + B_u$
Економічні наслідки від втрат балансово-промислових запасів у розрахунку на 1 т погашених балансово-промислових запасів, грн.	$\Delta\Pi_p = \varphi_{n1}(\kappa_{n1} - \kappa_{n2})B_{\text{ДПП}} + B_n \kappa_{n2}$
Різниця у питомих капітальних затратах по гірничовидобувним і переробним підприємствам, грн.	$\Delta\kappa_v E_n = (\kappa_{v1} - \kappa_{v2})E_n$
Економічні наслідки втрат балансово-промислових запасів з врахуванням різниці у капіталовкладеннях, грн.	
$\Delta\Pi_{\text{рк}} = \Delta\Pi_p + E_n(\kappa_{v1} - \kappa_{v2}) = \varphi_{n1}(\kappa_{n1} - \kappa_{n2}) - B_n \kappa_{n2} + E_n(\kappa_{v1} - \kappa_{v2})$	

Висновки та напрям подальших досліджень. Освоєння надр вимагає застосування відповідних методів визначення і оцінки втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у товарній залізрудній масі, які враховують особливості комплексності і повноти використання всіх запасів (балансових і забалансових) і всіх корисних копалин, а також усіх інших можливостей одержання того або іншого ефекту від видобутку з балансово-промислових запасів супутніх корисних компонентів. Збиток з позицій комплексного освоєння надр і інших природних ресурсів складається із втрат балансово-промислових запасів у контурах розвіданих балансових запасів, забалансових за вмістом якісних показників корисних копалин запасів, що залучаються при розробці балансово-промислових запасів основних корисних копалин, попутних корисних копалин, що залучаються при розробці запасів, виробленого простору, придатного для корисного використання, хвостів, відходів, придатних для використання сьогодні або в майбутньому, родючості зайнятих гірничим відводом і його господарством земель і від зниження родючості навколишніх оточуючих гірничий відвід земель, водних ресурсів і тваринного світу.

Список літератури

1. Временная методика определения экономической эффективности затрат и мероприятия по охране окружающей среды. (1987). – В кн.: Методы и практика определения эффективности капиталовложений и новой техники. М., Наука. – С. 108–114.
2. Шолох М. В. (2018). Ефективність методів прогнозування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах. / 36. наукових праць ДВНЗ «КНУ» «Гірничий вісник» Науково-технічний збірник: Кривий Ріг, 2018. – Вип. 103. – С. 119–125. ISSN 2306-5435.
3. Шолох М. В. (2018). Маркшейдерське забезпечення прогнозування і управління якісними показниками при розробці залізрудних родовищ. – С. 160–168. / Форум гірників – 2018: матеріали міжнар. конф., 10–13 жовтня 2018 р. – Дніпро: Середняк Т. К. – 2018. – 307 с. ISBN 978-617-7696-55-0.
4. Шолох М. В. (2018). Моделі і критерії оптимізації якісних показників видобутку магнетитових роговиків. – С. 65–78. / The 6th International conference - Science and society – (August 3, 2018) Accent Graphics Communications & Publishing, Hamilton, Canada. 2018. 250 p. ISBN 978-1-77192-360-6.
5. Шолох М. В. (2018). Моделювання прогнозної оцінки мінливості вмісту якісних показників корисних копалин. 274–287. / The 3rd International youth conference – Perspectives of science and education – (July 6, 2018) SLOVO\WORD, New York, USA. 2018. 524 p. ISBN 978-1-77192-403-0.

6. Шолох М. В., Сергієва М. П. (2017). Економічна оцінка втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у залізорудній масі. / Зб. наукових праць «Вісник КНУ». – Кривий Ріг, – Вип. 102. – С. 51–56.

7. Sholokh M. V. (2018). Determination and research of norms of the ferrous quartzites prepared to booty. 25–52. / Development of scientific foundations of resource-saving technologies of mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski», 2018. – 264 p. ISBN 978-954-353-355-8.

8. Sholokh M. V., Sholokh S. M., Sergieieva M. P. (2018). An analysis of surveyor control of losses of balance-industrial supplies is at mastering of bowels of the Earth. 415–438. / Innovative development of resource-saving technologies for mining. Multi-authored monograph. – Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski», 2018. – 439 p. ISBN 978-954-353-351-0

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 621.926.23.001.2

В.И. КЛЯЦКИЙ, канд.техн.наук, доц., А.В. ЛОПУШАН, студентка
Криворожский национальный университет

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИХ КОНСТРУКЦИИ

Цель работы. Разработка конструкции футеровочных броней, образующие оптимальный профиль камеры дробления, обеспечивающий повышение эффективности работы конусных дробилок.

Методы. В работе применены теоретические, статистические и экспериментальные методы исследований. Теоретические исследования выполнены с использованием аналитического метода с применением математического анализа ЭВМ. При построении математической модели расчета параметров профиля камеры дробления использованы методы теории вероятностей и математической статистики.

Научная новизна. Установлено, что в процессе эксплуатации профиль камеры дробления конусной дробилки мелкого дробления претерпевает существенные изменения вследствие неравномерного износа футеровок рабочих органов, закономерности которых необходимо учитывать при ее профилировании. Профиль камеры дробления оптимизирован решением изопериметрической вариационной задачи, с учетом износа броней, что обеспечивает ее неизменяемость в процессе эксплуатации дробилки. Получены аналитические выражения, описывающие профили конуса и чаши, в виде цепной линии – катеноиды, позволяющие выполнить конструирование футеровочных броней дробилок мелкого дробления. Установлены закономерности изменения формы и размеров камеры дробления конусных дробилок мелкого дробления, заключающиеся в уменьшении размеров приемного отверстия для КМДТ-2200 в 1,3...1,6 раза. Установлено влияние состояния профиля рабочей камеры на качество продукта дробления дробилки КМДТ-2200 (класс +20 при $T=0$ – 18,5%; при $T=0,5T_{пр}$ – 15%; при $T = T_{пр}$ – 22,5%; где $T_{пр}$ – предельный срок службы комплекта броней. Разработан метод профилирования камеры дробления по критериям износа футеровочных броней.

Практическая значимость. Значение работы заключается в установлении закономерностей изменения формы и геометрических размеров рабочей камеры и разработке на этой основе расчетного метода ее оптимального профилирования, обеспечивающего повышения эффективности работы конусных дробилок, что является вкладом в теорию управления качеством горных машин в процессе эксплуатации. Предложены конструктивные параметры профиля камеры дробления конусной дробилки мелкого дробления, обеспечивающие увеличение производительности на 15...20%, стабильное качество продукта дробления в процессе эксплуатации дробилки, равномерный износ броней вдоль образующих, неизменяемую геометрию на протяжении всего срока службы комплекта броней, увеличение износостойкости броней на 25...40%.

Результаты. Разработана методика расчета оптимальных конструктивных параметров профиля камеры дробления конусной дробилки мелкого дробления может быть принята при проектировании нового дробильного оборудования. Разработана новая конструкция футеровочных броней.

Ключевые слова. Конусная дробилка, брони, износ, камера дробления, профиль.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-177-184

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время закономерности процесса дробления в конусных дробилках изучены недостаточно. Это объясняется разнообразием режимов работы дробилок в практике их эксплуатации и широким диапазоном физико-механических свойств дробимого материала. Из закономерностей процесса дробления в дробилках мелкого дробления значительный интерес представляют зависимости между гранулометрическим составом дробленого продукта и параметрами профиля дробящего пространства. При дроблении горной массы конусными дробилками происходит интенсивное изнашива-

ние подвижного и неподвижного конусов, поверхности которых образуют дробящее пространство, что приводит к большому расходу высококачественной стали 110Г13Л, а также к простоям оборудования и затратам, связанных с частой заменой футеровок. Одним из методов повышения долговечности футеровочных броней является выбор оптимального профиля дробящего пространства, образованного подвижным и неподвижным конусами.

Анализ исследований и публикаций. Камера дробления конусных дробилок в значительной мере определяет производительность и назначение дробильной машины в цикле дробления на горно-обогатительных комбинатах (ГОКах). Современные конусные дробилки мелкого дробления отличаются большим разнообразием конструктивных решений, типов размеров и профилей камеры дробления. Профиль камеры дробления, как правило, образуется двумя коническими поверхностями неподвижного и подвижного конусов и для дробилок среднего и мелкого дробления функционально подразделяется на три зоны: приемная зона, зона дробления и зона калибровки. В приемной зоне производится прием, распределение и подача руды в зону дробления. Зона дробления и зона калибровки образуют камеру дробления, где производится разрушение материала по законам, предопределяемым физико-механическими свойствами руды, геометрическими и кинематическими параметрами камеры дробления. Объемная форма камеры дробления представлена горизонтальными и вертикальными сечениями (рис. 1, 2).

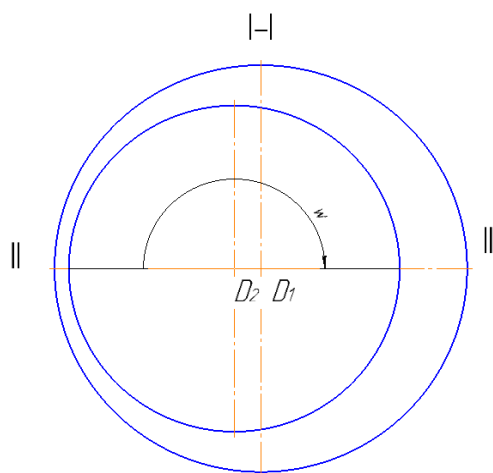


Рис.1. Горизонтальное сечение камеры дробления

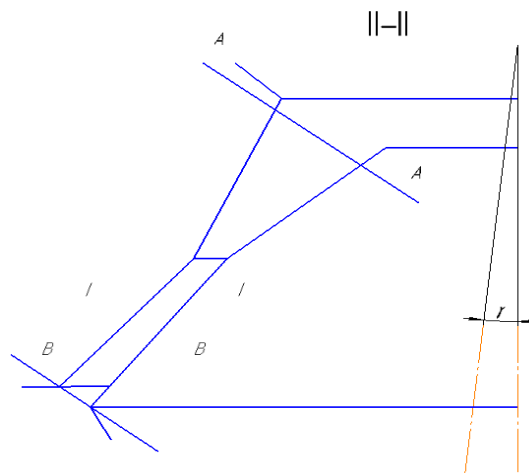


Рис.2. Профиль камеры дробления

При качании (гирации) подвижного конуса между коническими поверхностями образуется кольцевая щель. Расстояние между коническими поверхностями характеризует величину щели в закрытом состоянии со стороны загрузки – по верху (А) и со стороны разгрузки – по низу (В). Угол между подвижной и неподвижной коническими поверхностями (вертикальное сечение) выбирается так, чтобы он мог обеспечить надежный прием и удержание куска руды при его разрушении, исключая выброс его вверх. Процесс разрушения кусков руды в камере дробления конусных дробилок происходит непрерывно. Общая степень сокращения дробимого материала, определяемая геометрией камеры дробления, достигается многократным зажатием и разрушением отдельных кусков между дробящими поверхностями при перемещении их из верхней части в нижнюю. В фазе раскрытия камеры дробления происходит заполнение ее кусками горной массы, а в фазе сближения – разрушение до размеров, которые будут определяться как геометрией профиля камеры, так и свойствами дробимого материала [1, 2].

Последовательно чередующиеся фазы раскрытия и сближения дробящих поверхностей, которые задаются вращением эксцентрика дробилки, обеспечивают формирование дробленого продукта, который разгружается через разгрузочное отверстие. Для определения рациональных размеров приемных щелей и конфигурации рабочего пространства применяют различные способы профилирования камеры дробления, учитывающие гранулометрический состав исходного продукта и конструктивные параметры дробилок. Известен метод профилирования камеры дробления, который основан на гранулометрическом составе исходного питания [3].

При этом методе объем отдельных зон дробления выбирается равным объему, занимающему фракцией крупности в исходном питании. Сущность этого метода состоит в том, чтобы обеспечить разрушение узких фракций крупности в зонах, отвечающих их размеру, что позволит рас-

пределить работу по дроблению руды по высоте камеры дробления в соответствии с содержанием этих фракций. Однако этот метод может дать положительные результаты в том случае, если в процессе дробления существенным образом не изменится соотношение между отдельными фракциями по сравнению с исходным питанием. Известна дробилка «Жиросфера», где рабочая поверхность конуса представляет собой часть сферической поверхности, центр которой располагается на вертикальной оси конуса. [4]. Однако, при решении, принятом в дробилке «Жиросфера» оно приводит к ограничению высоты камеры дробления, что снижает возможность варьирования в широких пределах такими параметрами как крупность исходного питания и угол наклона образующей к горизонту. Ряд авторов пытались решить вопрос подбора рационального профиля броней дробилок среднего и мелкого дробления экспериментальным путем (рис. 3, 4) [5, 6].

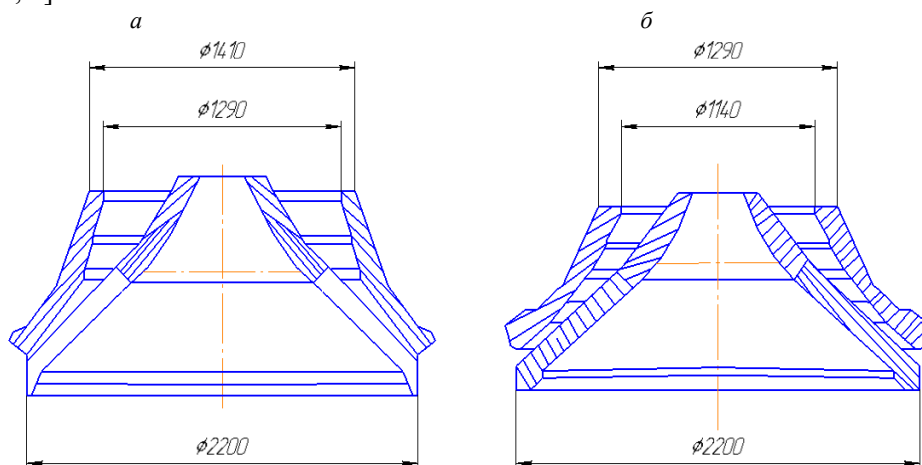


Рис.3. Комплект броней серийного (а) и изменённого (б) профиля дробилки КСД – 2200А

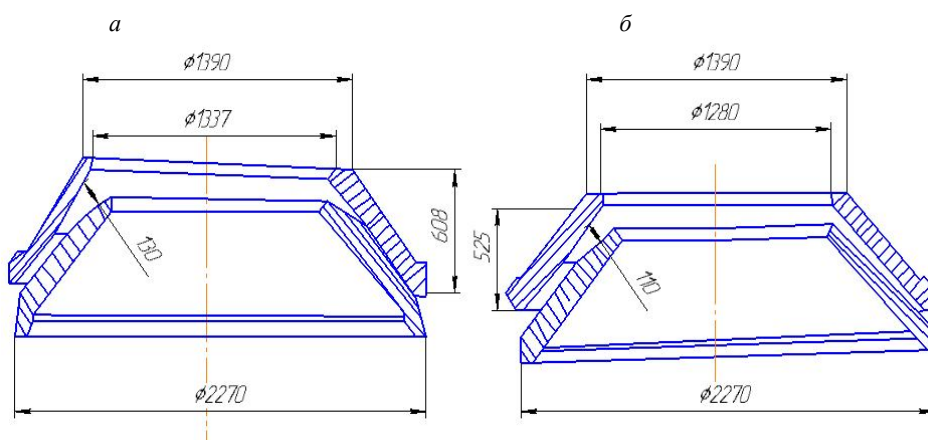


Рис.4. Комплект броней серийного (а) и изменённого (б) профиля дробилки КМД – 2200

Изменение профиля камеры дробления велось в направлении уменьшения приемной щели с целью более равномерной загрузки дробилки. Это создает в приемной зоне дробления постоянный слой руды, исключающий вхождение кусков руды в зону дробления с некоторой начальной скоростью, что благоприятно отразилось на качестве продукта-уменьшился выход крупной фракции. Однако, уменьшение приемных щелей вызывает некоторый рост потребляемой мощности дробилки, что объясняется дополнительным разрушением материала в верхней зоне. Институт «Механобр» разработана методика профилирования камеры дробления конусных дробилок [7, 8, 9], позволяющая исключить переполнение зон дробления при любой крупности исходного питания. Достигается это обеспечением определенного перемещения материала в каждой зоне камеры дробления за один цикл, т.е. за период между двумя последовательными зажатиями. Авторами [55, 56] разработана методика проектирования камеры дробления, основанная на способе дробления, предполагающем свободное расположение кусков материала в камере дробления, т.е. каждый кусок дробится футеровкой, а не в слое материала. При

этом рассматриваются две конструкции камеры дробления дробилки мелкого дробления с образующими зоны калибровки дробящего конуса, пересекающимися в точке подвеса-пространство 1 или выше точки подвеса-пространство 2 (рис.5).

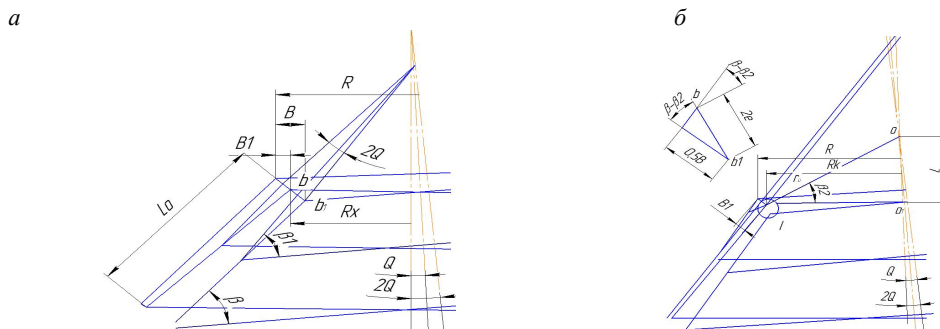


Рис.5. Дробящее пространство конусной дробилки, где *a* – пространство 1 ;*б* – пространство 2

Спроектированная камера дробления позволила увеличить технологические параметры (производительность, качество продукта) серийной дробилки КМДТ-2200. Таким образом, приведенные разными авторами исследования процессов дробления в конусных дробилках показали, что профили серийных дробящих конусов и, как следствие, геометрия камеры дробления применительно для условий горно-обогатительных комбинатов при существующих схемах дробления выбраны не совсем удачно. Существующие методики профилирования камеры дробления не полностью отражают условия работы конусных дробилок, так как они не учитывают непрерывного износа футеровочных броней.

Постановка задачи. Разработка конструкции футеровочных броней дробилки мелкого дробления, образующих оптимальный профиль камеры дробления, с учетом их износа и влияние на технологические показатели ее.

Изложение материала и результаты. В процессе эксплуатации дробилок футеровочные брони перерабатывая горную массу непрерывно изнашиваются, при этом изменяются размеры разгрузочной щели (она увеличивается), что приводит к увеличению крупности дробленого продукта. На практике для поддержания заданного качества дробленого продукта в течении срока службы броней регулируют размеры разгрузочной щели в определенных пределах за счет опускания неподвижной брони. Причем футеровочные брони дробилок среднего и мелкого дробления, образующие камеру дробления изнашиваются неравномерно, что приводит к ускоренному изменению зазоров между дробящими поверхностями по всей глубине камеры дробления в сравнении с первоначальным, а следовательно, к потере ее первоначальной формы (рис. 6) [10].

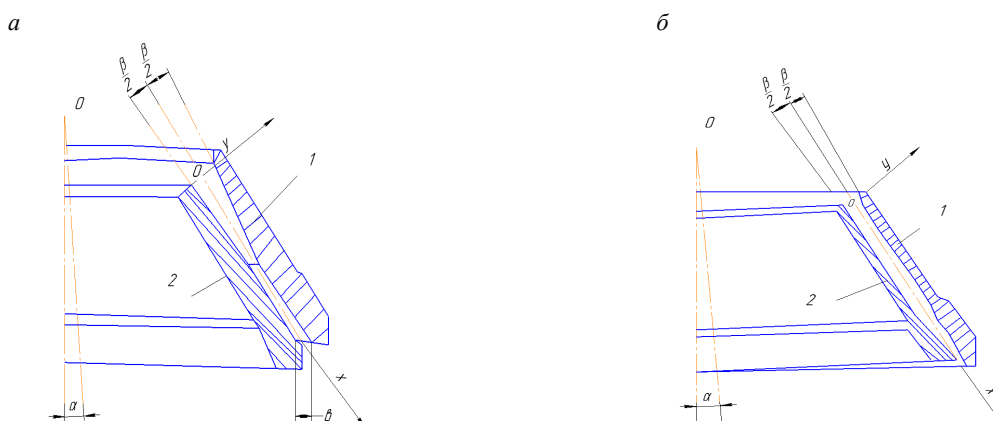


Рис.6. Схема определения профиля камеры дробления в начале (*a*) и в конце (*б*) срока службы комплекта броней, где 1 – профиль износа брони регулирующего кольца ; 2 – профиль износа брони подвижного конуса

Результаты замеров линейного износа футеровочных броней по длине образующей дробилок мелкого дробления при различных сроках службы приведены в табл.1 и показаны на (рис.7).

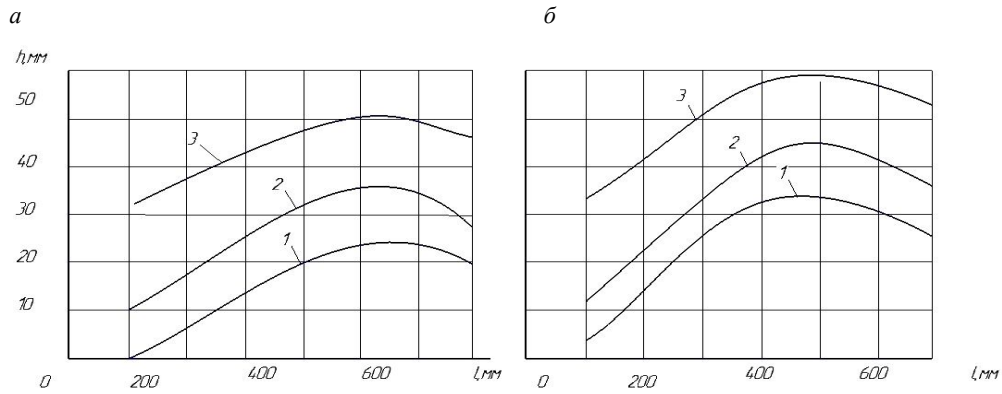


Рис.7. Зависимость износа (h) броней по глубине камеры дробления (L) конусной дробилке КМДТ – 2200 (ЮГОК) при различных сколах службы комплектах броней, где a – броня конуса; b – броня регулирующего кольца; 1- $T = 0,5T_{pr}$; 2 - $T=0,75 T_{pr}$; 3 – $T=T_{pr}$; (T_{pr} – предельный срок службы комплекта броней)

Таблица 1

Величина линейного износа броней конусной дробилки мелкого дробления по длинеобразующей при различном сроке их службы

Тип дробилки	Тип брони	Срок службы	Пред- приятие	Величина износа броней по сечениям, мм							
				100	200	300	400	500	600	700	800
КМДТ-2200	Броня подвижного конуса	$0,5 T_{pr}$	ЮГОК	4	12	19	25	27	24	15	5
		$0,75 T_{pr}$		9	18	27	34	37	35	30	21
		T_{pr}		27,5	36	42	48	52	51	48	42
	Броня регулирующего кольца	$0,5 T_{pr}$	ЮГОК	7	17	26	34	35	30	16	12
		$0,75 T_{pr}$		14,5	25	35	43	45	41	32	20
		T_{pr}		36	46	54	60	62	59	53	34

Анализ данных показывает, что кривые износа броней имеют ярко выраженные зоны наибольшего износа, которые и определяют в конечном итоге срок службы брони в целом. По результатам замеров износа броней определены размеры камеры дробления дробилки мелкого дробления и ее профиль при различных сроках службы комплекта броней приведены в табл. 2 и показаны на (рис.8).

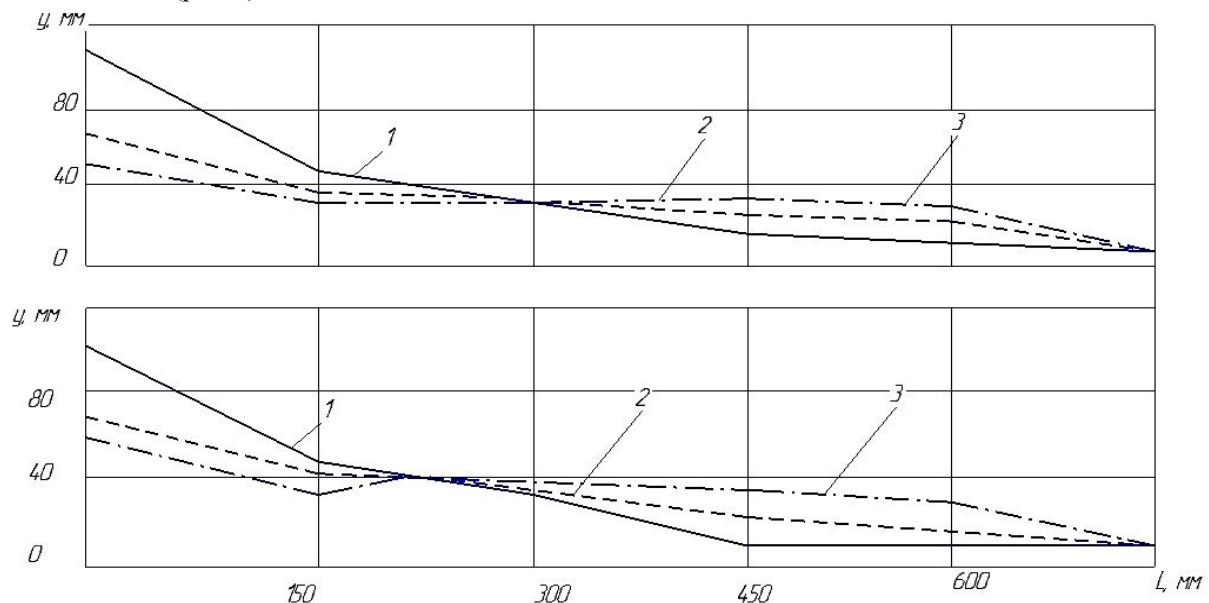


Рис.8. Профиль камеры дробления дробилки мелкого дробления КМДТ 2200 при различных сроках службы комплекта броней, где a – ЮГОК; b – ЦГОК; 1- $T=0$; 2- $T=0,5T_{pr}$; 3- $T=T_{pr}$; (T_{pr} – предельный срок службы комплектов броней) (L –глубина камеры дробления; y –зазор между поверхностями брони)

Таблица 2

Величина зазора между дробящими поверхностями конусной дробилки
мелкого дробления при различных сроках их службы

Тип дробилки	Предприятие	Срок службы броней	Величина зазора между дробящими поверхностями по сечениям, мм								
			0	100	200	300	400	500	600	700	750
КМДТ-2200	ЮГОК	$T=0$	114	53	35	21	7	6	6	6	6
		$T=0,5T_{np}^*$	75	43	33	22	15	11,5	9	7	6
		$T=0,75T_{np}$	56	36	28	22	20	16,5	11	7	6
		$T=T_{np}$	50	30	29	26	23	23	18	11	6
	ЦГОК	$T=0$	114	53	35	21	7	6	6	6	6
		$T=0,5T_{np}$	64	42	32	24	22	17	11	7	6
		$T=T_{np}$	56	35	34	33	31	30	23	10	6

* T_{np} – предельный срок службы комплекта броней.

Как видно из рис.8 первоначальный профиль (кривая 1) камеры дробления дробилки мелкого дробления в процессе работы претерпевает значительные изменения, особенностью которого является уменьшение зазора между образующими броней в области приемного отверстия и увеличение в зоне разгрузочной щели. Изменение первоначальной формы камеры дробления значительно снижает эффективность процесса дробления, о чем свидетельствуют данные табл.3, в которой приведены результаты гранулометрического состава продукта дробления дробилки КМДТ-2200 при различных сроках службы комплекта броней.

Таблица 3

Характеристики крупности продукта дробления дробилки КМДТ-2200
при различных сроках службы комплекта броней

Состояние броней	Разгр. щель, мм		Питание, D_{cp} , мм	Содержание расчетных классов, %						d_{cp} , мм	$D_{cp} I = d_{cp}$
	КСД-2200	КМДТ-2200		+25	-25 +20	-20 +12	-12 +6	-6 +3	-3		
Новые, $T=0$	28	5,4	36,1	2,2	9,9	32,6	34,1	8,8	12,4	11,8	3,06
	28	7,5	37,8	2,8	10,7	36,2	29,3	8,0	13,0	12,3	3,0
	32	10	41,4	3,4	11,6	35,8	28,1	10,3	10,8	12,5	3,31
Изношенные, $T=T_{np}$	30	5,8	37,7	3,7	11,1	40,2	24,8	10,4	9,8	12,8	2,94
	29	7,5	38,5	3,9	12,4	42,1	22,4	9,7	9,5	13,2	2,91
	29	9,6	39,2	4,1	13,9	44,6	21,1	7,9	8,4	13,8	2,84

Анализ данных таблицы 3 показывает, что для новых броней ($T=0$) дробилки КМДТ-2200 содержание продукта дробления класса плюс 20 при разгрузочной щели $Bo=5-6$ мм составляет 9,9%; при $Bo=7-8$ мм - 10,7%; при $Bo=10$ мм - 11,6%. Для изношенных броней ($T=T_{np}$) при $Bo=5-6$ мм - 11,1%; при $Bo=7-8$ мм - 12,4%; при $Bo=10$ мм - 13,9%, т.е. дробилка КМДТ-2200, с изношенными бронями, выдает более крупный продукт дробления. Известные методы профилирования камеры дробления строились на принципах, сформулированных Э.Б. Саймонсом, однако, они не учитывали износа броней в течение их срока службы. Авторами предлагается методика профилирования камеры дробления конусных дробилок среднего и мелкого дробления с учетом характера износа броней и обеспечивающая заданное качество продукта дробления. В основу расчета оптимального профиля камеры дробления положена изопериметрическая задача, для решения которой необходимо определить такой начальный профиль камеры дробления, чтобы за время дробления объема кускового материала износ броней был минимальным [11]. В результате расчетов получены уравнения профилей подвижного и неподвижного конусов дробилок для предприятий перерабатывающих различные по физико-механическим свойствам руды

$$Y = 6046,7 \text{ch} (0,124 - 0,0001653 X) - 6040,7 \quad (\text{ЮГОК}); \quad (1)$$

$$Y = 6272,6 \text{ch} (0,119 - 0,0001594 X) - 6266,6 \quad (\text{ЦГОК}); \quad (2)$$

$$Y = 6901,0 \text{ch} (0,1087 - 0,0001449 X) - 6895 \quad (\text{Рудник Кирова}), \quad (3)$$

где Y – расстояние между рабочими поверхностями броней в фазе сближения, мм; X – сечение, перпендикулярное биссектрисе угла схода броней по глубине камеры дробления, взятое от начала приемной зоны, мм.

На основании расчетов и результатов экспериментальных исследований определены рациональные геометрические размеры камеры дробления конусной дробилки КМДТ-2200. Новая конструкция броней показана на рис. 9, 10.

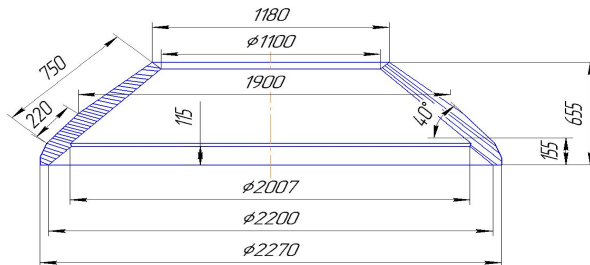


Рис 9. Броня конуса дробилки мелкого дробления КМДТ – 2200 – Э

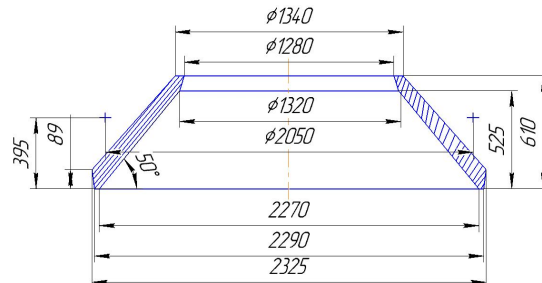


Рис. 10. Броня регулирующего кольца дробилки мелкого дробления КМДТ – 2200 - Э

Характерной особенностью новой конструкции броней является криволинейная в виде цепной линии зона дробления, переменный по глубине камеры дробления угол захвата, укороченная параллельная зона, обеспечивающая однократное зажатие дробимого материала.

Выводы и направление дальнейших исследований. Испытания дробилки КМДТ-2200 с бронями новой конструкции показали увеличение производительности при щели $B_o=6-8$ мм на 15%. Крупность продукта дробления класса +20 снизилась при $B_o=9-10$ мм на 8%; $B_o=8-9$ мм на 2,4%; при $B_o=6-7$ мм на 2,2%.

Список литературы

1. Панкратов С.А. Энергия деформации горных пород при дроблении. – Изв. вузов. Горный журнал. 1968, №2, с.22-24.
2. Панкратов С.А., Ушаков В.С. Методика определения усилий дробления в конусных дробилках среднего и мелкого дробления. – Строительные и горные машины. Сб. трудов УДН, вып. 5, 1976, с. 64-66.
3. Круппа П.И. Интенсификация процессов дробления в условиях горно-обогатительного комбината. – Обогащение руд. 1968, №2, с. 68-70.
4. Котельников Б.Д. Исследование влияния геометрических и кинематических параметров дробилок мелкого дробления на формирование грансостава продукта дробления. – Кандидатская диссертация, Свердловск, 1980.
5. Иванов Н.А. Механико-технологические основы программирования камеры дробления и выбор основных параметров конусных инерционных дробилок. – Кандидатская диссертация, Л., 1979, с. 180.
6. Ильин В.А., Раков Е.Ф. Изменение конструкции броней дробилок КМД-2200. – Горный журнал, 1976, №10, с. 52-54.
7. Блехман И.И., Иванов Н.А. О пропускной способности и профилировании камеры дробления конусных дробилок. Обогащение руд. 1979, №1, с. 20-27.
8. Блехман И.И., Иванов Н.А. Движение материала в камере дробления конусных дробилок как процесс вибрационного перемещения. – Обогащение руд. 1977, №2, с. 15-21.
9. Иванов Н.А., Зарогатский Л.П. Исследование технологических параметров инерционных дробилок. – Л., Труды Механобра, вып. 140, 1975, с. 41-49.
10. Шестаков А.М., Джур В.А., Кляцкий В.И. Влияние профиля дробящего пространства конусных дробилок на эффективность дробления и износостойкость броней. – Изв. вузов. Горный журнал, 1980, №3, с. 111-115.
11. Кляцкий В.И. Профилирование камеры дробления конусных дробилок мелкого дробления по критериям максимальной износостойкости броней и качества продукта дробления. – Строительные и дорожные машины. 1985, №2, с. 24-25.

Рукопись поступила в редакцию 10.04.2019

АНОТАЦІЇ

УДК 504.55.054:622(470.6)

Моркун В.С., Моркун Н.В., Сердюк О.Ю. Використання високоенергетичного ультразвуку для оцінки параметрів процесу осадження часток твердої фази пульпи

Мета. Метою даної роботи є підвищення якості автоматизованого керування процесом дешламачії шляхом побудови моделі осадження частинок твердої фази рудної суспензії в дешламаторі під впливом радіаційного тиску високоенергетичного ультразвуку.

Методи дослідження. У роботі використано методи чисельного моделювання, аналітичного конструювання і комп'ютерного моделювання, комп'ютерні інформаційні та програмні технології для підвищення якості інформаційного забезпечення автоматизованого керування процесом дешламачії.

Наукова новизна. У роботі пропонується метод оцінки параметрів процесу осадження часток твердої фази рудної суспензії в контрольованій зоні дешламатора на основі аналогії з керованим впливом на них радіаційного тиску високоенергетичного ультразвуку, що дозволяє здійснювати прогнозує керування характеристиками згущеного продукту дешламатора та підвищити якість магнітного продукту.

Практична значимість полягає у розробленні інформаційної бази для формування прогнозного керування характеристиками згущеного продукту дешламатора шляхом розробки математичної моделі проходження ультразвукової хвилі через тверду фазу рудної суспензії, моделювання та верифікація побудованої моделі в програмному пакеті Wave Form Revealer.

Результати. На основі результатів дослідження впливу динамічних ефектів високоенергетичного ультразвуку на тверду фазу рудної суспензії в контрольованій зоні дешламатора теоретично обґрунтований і експериментально апробований метод просторового впливу, що дозволяє здійснювати цілеспрямоване зміщення часток подрібненої руди певної маси і змінення фракційного складу твердої фази рудної суспензії. На підставі аналогії між фізичним впливом радіаційного тиску високоенергетичного ультразвуку на частки твердої фази рудної суспензії і їх поведінкою в гравітаційному полі в початковій стадії процесу осадження в дешламаторі моделюються основні його параметри для формування прогнозного керування характеристиками згущеного продукту. Середньоквадратична розбіжність між моделлю і експериментом в контрольних точках гранулометричної характеристики склала 0,87%.

Ключові слова: керування технологічним процесом збагачення руди, дешламатор, рудна суспензія, автоматизація, високоенергетичний ультразвук, моделювання, хвилі Лемба, осадження часток подрібненої руди.

Моркун В.С., Моркун Н.В., Сердюк А.Ю. Использование высокоэнергетического ультразвука для оценки параметров процесса осаждения частиц твердой фазы пульпы

Цель. Целью данной работы является повышение качества автоматизированного управления процессом дешламации путем построения модели осаждения частиц твердой фазы рудной суспензии в дешламаторы под воздействием радиационного давления высокоэнергетического ультразвука.

Методы исследования. В работе использованы методы численного моделирования, аналитического конструирования и компьютерного моделирования, компьютерные информационные и программные технологии для повышения качества информационного обеспечения автоматизированного управления процессом дешламации.

Научная новизна. В работе предлагается метод оценки параметров процесса осаждения частиц твердой фазы рудной суспензии в контролируемой зоне дешламатора на основе аналогии с управляемым воздействием на них радиационного давления высокоэнергетического ультразвука, которая позволяет осуществлять прогнозирующее управление характеристиками сгущенного продукта дешламатора и повысить качество магнитного продукта.

Практическая значимость заключается в разработке информационной базы для формирования прогнозирующего управления характеристиками сгущенного продукта дешламатора путем разработки математической модели прохождения ультразвуковой волны через твердую фазу рудной суспензии, моделирование и верификация построенной модели в программном пакете Wave Form Revealer.

Результаты. На основе результатов исследования влияния динамических эффектов высокоэнергетического ультразвука на твердую фазу рудной суспензии в контролируемой зоне дешламатора теоретически обоснован и экспериментально апробирован метод пространственного воздействия, позволяет осуществлять целенаправленное смещение частиц измельченной руды определенной массы и изменение фракционного состава твердой фазы рудной суспензии. На основании аналогии между физическим воздействием радиационного давления высокоэнергетического ультразвука на доли твердой фазы рудной суспензии и их поведением в гравитационном поле в начальной стадии процесса осаждения в дешламаторе моделируются основные его параметры для формирования прогнозирующего управления характеристиками сгущенного продукта. Среднеквадратическое расхождение между моделью и экспериментом в контрольных точках гранулометрической характеристики составило 0,87%.

Ключевые слова: управление технологическим процессом обогащения руды, дешламаторы, рудная суспензия, автоматизация, высокоэнергетический ультразвук, моделирование, волны Лэмба, осаждения частиц измельченной руды.

Morkun V.S., Morkun N.V., Serdiuk A.Y. Using high energy ultrasound to assess parameters of pulp solid phase particles deposition process

Purpose. The aim of this work is to improve the quality of the automated control of the desliming process by building a model of sedimentation of particles of the solid phase of the ore suspension into deslimers under the influence of the radiation pressure of high-energy ultrasound.

Research methods. In work methods of numerical modeling, analytical design and computer modeling, computer information and software technologies for improving the quality of information provision of automated control of the process of dehumidification were used.

Scientific novelty. The paper proposes the parameter estimation method for the process of sedimentation of particles of the ore suspension solid phase in the controlled zone of the deslimer, based on the analogy with the controlled influence of radia-

tion energy of high-energy ultrasound on them. The method allows predictive control of condensed product characteristics in deslamator and improves the quality of the magnetic product.

The practical significance is the development of an information base for the formation of a predictive control of condensed product characteristics for deslimers by developing a mathematical model for the passage of an ultrasonic wave through the solid phase of the ore suspension, modeling and verification of the constructed model in the Wave Form Revealer software package.

Results. Based on the results of the study of the influence of the dynamic effects of high-energy ultrasound on the solid phase of the ore suspension in the controlled zone of the deslimer, the spatial influence method was theoretically substantiated and experimentally tested. Based on the analogy between the physical effects of high-energy ultrasound radiation pressure on the solid phase fractions of the ore suspension and their behavior in the gravitational field in the initial stage of the deposition process in deslimers, its main parameters are modeled to form a predictive control of the characteristics of the condensed product. The standard deviation between the model and the experiment on the control points of the particle size characteristic was 0.87%.

Keywords: ore dressing process control, deslimer, ore suspension, automation, high-energy ultrasound, modeling, Lamb waves, deposition of particles of crushed ore.

УДК 001.57:681.5.015: 681.542.35

Мацуй А.М., Кондратець В.О., Абашина А.А. Системний аналіз роботи механічного односпірального класифікатора як об'єкта керування

Мета. Проведення системного аналізу роботи механічного односпірального класифікатора як керованого об'єкта, щоб намітити шляхи вдосконалення управління технологічними процесами в ньому.

Методи дослідження. В роботі використані метод узагальнення результатів попередніх досліджень, аналізу результатів роботи, методи теорії ймовірностей, гідравліки, руху неньютоновських рідин, теорії гідравлічної класифікації, теорії перемішування сипучих матеріалів, теорії автоматичного управління, теорії чутливості, випадкових процесів і операторний метод.

Наукова новизна. Запропоновано шляхи вдосконалення теорії класифікації продуктів у односпіральних класифікаторах, а саме: перегляд основних теоретичних передумов теорії механічних односпіральних класифікаторів; опис динамічної рівноваги між перемішуванням і гравітаційним випаданням частинок твердого; розвиток теоретичного обґрунтування теорії перемішування пульпи; обґрунтування параметрів настройки односпірального класифікатора; розробка більш ефективного принципу управління механічним односпіральним класифікатором.

Практична значимість. Запропоновано конкретні шляхи вдосконалення теорії механічних односпіральних класифікаторів, що дозволить істотно підвищити ефективність їх роботи і зменшити втрати в рудопідготовці в межах першої стадії подрібнення руди.

Результати. Односпіральні класифікатори в порівнянні з гідроциклонами вимагають менше електроенергії, можуть розділяти більший матеріал, відрізняється більш тривалими міжремонтними періодами, проте мають великі габарити, високу вартість. Теоретики і практики розглядали процес поділу подрібненого матеріалу по крупності на два продукти - злив і піски досить спрощено. Згодом в них виділяють окремі зони, отримують передавальні функції і роблять спроби автоматичного управління процесом, проте задовільних результатів не отримують. Встановлення структурних зв'язків між параметрами пульпи в процесі класифікації показало, що вони занадто складні. З одного боку, продуктивність односпірального класифікатора і крупність розділення залежать від площі дзеркала пульпи, швидкості осідання частинок твердого максимальною крупністю, що направляються в злив, крупності твердого в пульпі, дії механізму класифікатора. З іншого боку, швидкість осідання частинок твердого визначається в'язкістю пульпи, яка також залежить від крупності твердого та дії механізму класифікатора.

Ключові слова: односпіральний класифікатор, аналіз, структурні зв'язки, теорія, шляхи вдосконалення.

Мацуй А.Н., Кондратец В.А., Абашина А.А. Системный анализ работы механического односпирального классификатора как объекта управления

Цель. Проведение системного анализа работы механического односпирального классификатора как управляемого объекта, чтобы наметить пути совершенствования управления технологическими процессами в нем.

Методы исследования. В работе использованы метод обобщения результатов предыдущих исследований, анализа результатов работы, методы теории вероятностей, гидравлики, движения неньютоновских жидкостей, теории гидравлической классификации, теории перемешивания сыпучих материалов, теории автоматического управления, теории чувствительности, случайных процессов и операторный метод.

Научная новизна. Предложены пути совершенствования теории классификации продуктов в односпиральных классификаторах, а именно: пересмотр основных теоретических предпосылок теории механических односпиральных классификаторов; описание динамического равновесия между перемешиванием и гравитационным выпадением частиц твердого; развитие теоретического обоснования теории перемешивания пульпы; обоснование параметров настройки односпирального классификатора; разработка более эффективного принципа управления механическим односпиральным классификатором.

Практическая значимость. Предложены конкретные пути совершенствования теории механических односпиральных классификаторов, что позволит существенно повысить эффективность их работы и уменьшить потери в рудоподготовке в пределах первой стадии измельчения руды.

Результаты. Односпиральные классификаторы по сравнению с гидроциклонами требуют меньше электроэнергии, могут разделять более крупный материал, отличается более длительными межремонтными периодами, однако имеют большие габариты, высокую стоимость. Теоретики и практики рассматривали процесс разделения измельченного материала по крупности на два продукта - слив и пески достаточно упрощенно. Впоследствии в них выделяют отдельные зоны, получают передаточные функции и делают попытки автоматического управления процессом, однако удовлетворительных результатов не получают. Установление структурных связей между параметрами пульпы в

процессе классификации показало, что они слишком сложные. С одной стороны, производительность односпирального классификатора и крупность разделения зависят от площади зеркала пульпы, скорости оседания частиц твердого максималь-ной крупности, направляемые в слив, крупности твердого в пульпе, взмучивающего действия механизма классификатора. С другой стороны, скорость оседания частиц твердого определяется вязкостью пульпы, которая также зависит от крупности твердого и взмучивающего действия механизма классификатора.

Ключевые слова: односпиральный классификатор, анализ, структурные связи, теория, пути совершенствования

Matsui A.N, Kondratets V.A, Abashina A.A. System analysis of the mechanical single-spiral classifier as a control object

Purpose. To conduct a system analysis of the work of a mechanical single-spiral classifier as a managed object in order to outline ways to improve the management of technological processes in it.

Research methods. Generalization of the results of previous studies, analysis of the results of work, methods of the theory of probability, hydraulics, movement of non-Newtonian fluids, the theory of hydraulic classification, the theory of mixing bulk materials, the theory of automatic control, the theory of sensitivity, random processes and the operator method.

Scientific novelty. The scientific novelty lies in the fact that the proposed ways to improve the classification theory of products in single-spiral classifiers, namely: a revision of the basic theoretical premises of the theory of mechanical single-spiral classifiers; description of the dynamic equilibrium between mixing and gravitational precipitation of solid particles; development of theoretical substantiation of the theory of pulp mixing; justification of the single-spiral classifier settings; the development of a more efficient principle of control of a mechanical single-spiral classifier.

Practical significance. It lies in the fact that specific ways of improving the theory of mechanical single-spiral classifiers have been proposed, which will significantly improve their efficiency and reduce losses in ore preparation within the first stage of ore grinding.

Results. Single-spiral classifiers, as compared with hydrocyclones, require less electricity, they can separate larger material, they are characterized by longer overhaul periods, however, they have large dimensions and high cost. Since this increases the capital costs of the equipment and construction of the processing plants, there is a tendency to displace them with hydrocyclones. Theorists and practitioners considered the process of separation of the crushed material by size into two products - plums and sands rather simply. Subsequently, they are allocated separate zones, receive transfer functions and make attempts to automatically control the process, but do not get satisfactory results. The establishment of structural links between the parameters of the pulp in the classification process showed that they are too complex. On the one hand, the productivity of the single-spiral classifier and the particle size of separation depend on the area of the pulp mirror, the sedimentation rate of particles of solid maximum particle size, directed to the discharge, the particle size of the solid in the pulp, rocking action of the classifier mechanism. On the other hand, the sedimentation rate of solid particles is determined by the viscosity of the pulp, which also depends on the size of the solid and resuscitating action of the classifier mechanism

Keywords: single-spiral classifier, analysis, structural connections, theory, ways to improve

УДК 331.452

Таїрова Т.Н. Математична модель системи охорона праці вугільної галузі

Мета. Підвищення результативності функціонування СУОП та її підсистеми – системи охорони праці у вугільній галузі.

Методи дослідження. У статті використано метод системного аналізу для аналізу СУОП і її підсистеми - системи охорони праці та метод математичного моделювання.

Наукова новизна. Вперше побудована математична модель системи охорони праці вугільної галузі, яка на відміну від відомих кількісно оцінює кожен підсистему охорони праці: економічну, правову, технічну, організаційну та санітарно-гігієнічну, що дозволяє визначати результативність функціонування як кожної підсистеми, так і системи охорона праці в цілому, і розробляти науково обґрунтовані заходи, спрямовані як на стабілізацію системи, так і на підвищення результативності її функціонування.

Практична значимість. Розроблено оцінні показники для кожної підсистеми охорони праці для вугільної галузі, побудовано математичні моделі системи охорони праці, що враховують дії або бездіяльність основних учасників трудового процесу - працівника і роботодавця. Визначено чинники, що викликають порушують режимів функціонування системи охорони праці, а також ті чинники, що дозволяють стабілізувати систему і підвищити результативність її функціонування. Кількісно оцінено ризик настання нещасних випадків на підприємствах вугільної галузі через дію або бездіяльність працівника і роботодавця. Запропоновано заходи підвищення результативності СУОП, засновані на результатах математичного моделювання системи охорони праці та оцінки впливу на результативність її функціонування факторів зовнішнього і внутрішнього середовища. Отримані результати дають можливість уніфікувати і регламентувати порядок розробки науково обґрунтованих управлінських рішень, спрямованих на підвищення результативності функціонування системи охорони праці та відповідно СУОП вугільної галузі.

Результати. Запропоновано метод оцінки технічної, організаційної та санітарно-гігієнічної підсистем системи охорони праці, який дозволяє на основі статистичних даних про виробничий травматизм у вугільній галузі та причин його виникнення кількісно оцінювати дії або бездіяльність осіб, які допустили порушення нормативних актів з охорони праці, використовувати отримані дані для побудови математичної моделі системи охорона праці та розробляти відповідні заходи, спрямовані на підвищення її результативності.

Ключові слова: система охорони праці, фактори зовнішнього і внутрішнього середовища, математична модель, виробничий травматизм, ризик.

Таїрова Т. Н. Математическая модель системы охрана труда угольной отрасли

Цель. Повышение результативности функционирования СУОТ и ее подсистемы – системы охраны труда в угольной отрасли.

Методы исследования. Для решения поставленных задач используются системный анализ и метод математического моделирования.

Научная новизна. Впервые построена математическая модель системы охраны труда угольной отрасли, которая в отличие от известных количественно оценивает каждую подсистему охраны труда: экономическую, правовую, техническую, организационную и санитарно-гигиеническую, что позволяет определять результативность функционирования как каждой подсистемы, так и системы охраны труда в целом, и разрабатывать научно-обоснованные мероприятия направленные как на стабилизацию системы, так и на повышение ее результативности и результативности СУОТ.

Практическая значимость. Разработаны оценочные показатели для каждой подсистемы охраны труда для угольной отрасли, построены математические модели системы охраны труда, учитывающие действия или бездействие основных участников трудового процесса - работника и работодателя. Определены факторы, которые вызывают нарушающие режимы функционирования системы охраны труда, а также те факторы, которые позволяют стабилизировать систему и повысить результативность ее функционирования. Количественно оценен риск наступления несчастных случаев на предприятиях угольной отрасли через действие или бездействие работника и работодателя. Предложены меры повышения результативности СУОТ, основанные на результатах математического моделирования системы охраны труда и оценки воздействия на результативность ее функционирования факторов внешней и внутренней среды. Полученные результаты дают возможность унифицировать и регламентировать порядок разработки научно обоснованных управленческих решений, направленных на повышение результативности функционирования системы охраны труда и соответственно СУОТ угольной отрасли.

Результаты. Предложен метод оценки технической, организационной и санитарно-гигиенической подсистем системы охраны труда, который позволяет на основе статистических данных о производственном травматизме в угольной отрасли по причинам его возникновения определять лиц, допустивших нарушения нормативных актов по охране труда, использовать полученные данные для построения математической модели системы охраны труда и разрабатывать мероприятия, направленные на повышение ее результативности.

Ключевые слова: система охраны труда, факторы внешней и внутренней среды, математическая модель, производственный травматизм, риск.

Tairova T.N. Mathematical model of the system of labor protection in the coal industry

Purpose. Improving the performance of the system of OSH and its subsystems - labor protection systems in the coal industry.

Research methods. The system analysis and the method of mathematical modeling are used to solve the set tasks.

Scientific novelty. For the first time, the mathematical model of the labor protection system of the coal industry was built, which, unlike the well-known ones, quantitatively assesses each labor protection subsystem: economic, legal, technical, organizational and sanitary-hygienic, that allows to determine the performance of each subsystem and the labor protection system as a whole and to develop scientifically based measures aimed at both stabilizing the system and increasing its effectiveness and efficiency of the OSH.

Practical significance. The estimated indicators for each subsystem of labor protection for the coal industry have been developed, mathematical models of the labor protection system have been built, taking into account the actions or inaction of the main participants in the labor process - the employee and the employer. The factors that cause disruptive modes of functioning of the labor protection system, as well as those factors that allow to stabilize the system and increase the effectiveness of its functioning were identified. The risk of accidents at coal enterprises was estimated quantitatively through the action or inaction of the employee and the employer. It were proposed measures to improve the performance of OSH, based on the results of mathematical modeling of the labor protection system and assess the impact external and internal factor on its functioning. The obtained results make it possible to unify and regulate the procedure for developing scientifically based management decisions that were aimed at improving the performance of the labor protection system and, accordingly OSH management system. The obtained results make it possible to unify and regulate the procedure for developing scientifically based management decisions that were aimed at improving the performance of the labor protection system and, accordingly OSH management system of the coal industry.

Keywords: labor protection system, factors of external and internal environment, mathematical model, industrial injuries, risk.

УДК 622.245.42

Орловський В. М., Білецький В. С., Похилко А. М. Термостійкі полегшені тампонажні суміші з використанням золи-виносу ТЕС

Мета. Підвищення якості цементування обсадних колон у високотемпературних нафтових і газових свердловинах в широкому діапазоні пластових тисків від аномально низьких до нормальних гідростатичних пластових тисків. Задачею досліджень є розробка термостійких полегшених тампонажних сумішей для застосування в складних гірничо-геологічних умовах нафтових, газових і газоконденсатних родовищ України.

Методи. Лабораторні дослідження, вимірювання густини тампонажного розчину ареометром, визначення текучості на крузі, визначення відділення води на мірних циліндрах автоклав, випробовування зразків на міцність (на згин і на стискання).

Наукова цінність розробки полягає в проведеному підборі оптимальних рецептур термостійких полегшених тампонажних сумішей.

Практичне значення. Розроблено і досліджено термостійкі тампонажні суміші з полегшеною та нормальною густиною на основі різних типів в'язучих матеріалів з використанням пуцоланової домішки – золи-виносу теплових електростанцій. Розроблені тампонажні суміші володіють високими технологічними властивостями тампонажного розчину та утвореного каменя. Результати роботи мають практичне застосування при цементуванні нафтових і газових свердловин в складних гірничо-геологічних умовах вуглеводневих родовищ України.

Результати. Мета досягається шляхом розробки та застосування термостійких полегшених тампонажних сумішей з високими технологічними властивостями на основі двох видів в'язучих: тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 та золи високо-кальцієвої від спалювання прибалтійських горючих сланців на ТЕС. В якості пуцоланової домішки в

термостійких тампонажних сумішах використано кислу золу-виносу від спалювання кам'яного вугілля на ТЕС. В частині полегшених рецептур з підвищенням водо-сумішевим відношенням додатково використано стабілізатор Duoviz.

Ключові слова: полегшений тампонажний матеріал, тампонажна суміш, густина, розтікання тампонажного розчину, відділення води, міцність каменя, термостійкість, зола виносу ТЕС, цементування обсадних колон, нафтові і газові свердловини.

Орловский В.М., Белецкий В. С., Похилко А. М. Термостойкие облегченные тампонажные смеси с использованием золы-уноса ТЭС

Цель Повышение качества цементирования обсадных колонн в высокотемпературных нефтяных и газовых скважинах в широком диапазоне пластовых давлений от аномально низких до нормальных гидростатических пластовых давлений. Задачей исследований является разработка термостойких облегченных тампонажных смесей для применения в сложных горно-геологических условиях нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений Украины.

Методы. Лабораторные исследования, измерения плотности тампонажного раствора ареометром, определение текучести на круге, определение отделения воды на мерных цилиндрах, автоклав, испытания образцов на прочность (на изгиб и на сжатие).

Научная ценность разработки заключается в проведенном подборе оптимальных рецептур термостойких облегченных тампонажных смесей.

Практическое значение. Разработаны и исследованы термостойкие тампонажные смеси с облегченной и нормальной плотностью на основе различных типов вяжущих материалов с использованием пуццолановой примеси - золы-уноса тепловых электростанций. Разработанные тампонажные смеси обладают высокими технологическими свойствами тампонажного раствора и образованного камня. Результаты работы имеют практическое применение при цементирования нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях углеводородных месторождений Украины.

Результаты. Цель достигается путем разработки и применения термостойких облегченных тампонажных смесей с высокими технологическими свойствами на основе двух видов вяжущих: тампонажного портландцемента ПЦТИ-100 и золы высоко-кальциевой от сжигания Прибалтийских горючих сланцев на ТЭС. В качестве пуццолановой примеси в термостойких тампонажных смесях использовано кислую золу-уноса от сжигания каменного угля на ТЭС. В части облегченных рецептур с повышенным водо-смесового отношением дополнительно использовано стабилизатор Duoviz.

Ключевые слова: облегченный тампонажний матеріал, тампонажна смесь, плотность, растекание тампонажного раствора, отделение воды, прочность камня, термостойкость, зола уноса ТЭС, цементирование обсадных колонн, неф-тяные и газовые скважины.

Orlovskiy V. M., Biletskyi V. S., Pokhylko A.M. Thermo-resistant lightweight bonding mixtures using TPP ash removal

Purpose. Improving the quality of casing cementing in high-temperature oil and gas wells in a wide range of reservoir pressures from abnormally low to normal hydrostatic reservoir pressures. The task of research is the development of heat-resistant lightweight cement mixtures for use in difficult geological conditions of oil, gas and gas condensate fields of Ukraine.

Research methods. Laboratory studies, measuring the density of the cement slurry with a hydrometer, determining the fluidity on a circle, determining the separation of water on measuring cylinders, autoclave, testing samples for strength (bending and compression).

The scientific novelty of the development lies in the selection of optimal formulations of heat-resistant lightweight cement mixtures.

Practical value. Heat-resistant grouting mixtures with lightweight and normal density based on various types of binders using pozzolanic impurity - fly ash from thermal power plants have been developed and investigated. Developed grouting mixtures possess high technological properties of cement slurry and the formed stone. The results of the work have practical application in the cementing of oil and gas wells in the complex mining and geological conditions of the hydrocarbon deposits of Ukraine.

Results. The goal is achieved through the development and use of heat-resistant lightweight cement mixtures with high technological properties based on two types of binders: grouting Portland cement PCTI-100 and high-calcium ash from burning Baltic combustible shale at TPPs. As pozzolanic impurities in heat-resistant cement mixtures used acidic fly ash from the burning of coal at thermal power plants. In terms of lightweight formulations with a higher water-blended ratio, the Duoviz stabilizer is additionally used.

Keywords: lightweight grouting material, grouting mixture, density, cement slurry spreading, water separation, stone strength, heat resistance, TPP ablation ash, casing cementing, oil and gas wells.

УДК: 008.5

Рыбак А.И., Балдук Г.П., Азарова И.Б. Модель оценки качества городской среды

Цель. Стремительный рост большинства городов во всем мире сопровождается рядом проблем, решение которых возможно на основе проектного подхода. Для этого необходима четкая идентификация проблемного уровня городской системы, чего существующие методы не предусматривают. Поэтому целью исследования является создание модели комплексной оценки качества городской среды с позиции жителя города, выполняемой по каждому из планировочных уровней городской среды.

Методы. Методологической основой исследования являются методы квалитетрической оценки, экспертных оценок, ранжирования, эталонного сравнения.

Научная новизна. Согласно предложенной модели, оценки качества городской среды выполняется с точки зрения жителя города последовательно на каждом из планировочных уровней городской среды - от индивидуального про-

странства городского жителя, до уровня микрорайона, района и города в целом, что отличает ее от существующих моделей.

Практическая значимость. Разработанная модель позволяет выявлять уровень планировочной структуры города, где имеются проблемы, связанные с недостаточным качеством городской среды. Для решения таких проблем городскими властями могут инициироваться соответствующие проекты развития городских территорий, направленные на повышение качества городского окружения. Предложенная модель также позволяет оценить качество конечного результата подобных градостроительных проектов в рамках предпроектного анализа и выбрать проекты, обеспечивающие максимальное качество городской среды.

Результаты. Предложенная в ходе исследования модель оценки качества городской среды позволяет увидеть комплексную картину восприятия городской среды с точки зрения жителя города. Полученный комплексный показатель определяет качество городской среды на каждом из планировочных уровней, а также указывает конкретный уровень планировочной структуры города, где имеются проблемы и необходимы меры по их устранению, в том числе – с использованием проектного подхода.

Ключевые слова: качество городской среды; оценка качества; управление качеством проектов; управление проектами развития городских территорий; планировочная структура города; градостроительство.

Рибак А.І., Балдук Г.П., Азарова І.Б. Модель оцінки якості міського середовища

Мета. Стрімке зростання більшості міст в усьому світі супроводжується рядом проблем, рішення яких можливо на основі проектного підходу. Для цього необхідна чітка ідентифікація проблемного рівня міської системи, чого існуючі методи не передбачають. Тому метою дослідження є створення моделі комплексної оцінки якості міського середовища з позиції жителя міста, виконуваної по кожному з планувальних рівнів міського середовища.

Методи. Методологічною основою дослідження є методи кваліметричної оцінки, експертних оцінок, ранжирування, еталонного порівняння.

Наукова новизна. Згідно запропонованої моделі, оцінка якості міського середовища виконується з точки зору жителя міста послідовно на кожному з планувальних рівнів міського середовища - від індивідуального простору міського жителя, до рівня микрорайону, району та міста в цілому, що відрізняє її від існуючих моделей.

Практична значимість. Розроблена модель дозволяє виявляти рівень планувальної структури міста, де є проблеми, пов'язані з недостатньою якістю міського середовища. Для вирішення таких проблем міською владою можуть ініціюватися відповідні проекти розвитку міських територій, спрямовані на підвищення якості міського оточення. Запропонована модель також дозволяє оцінити якість кінцевого результату подібних містобудівних проектів в рамках передпроектного аналізу і вибрати проекти, що забезпечать максимальну якість міського середовища.

Результати. Запропонована в ході дослідження модель оцінки якості міського середовища дозволяє побачити комплексну картину сприйняття міського середовища з точки зору жителя міста. Отриманий комплексний показник визначає якість міського середовища на кожному з планувальних рівнів, а також вказує конкретний рівень планувальної структури міста, де є проблеми, і необхідні заходи щодо їх усунення, в тому числі - з використанням проектного підходу.

Ключові слова: якість міського середовища; оцінка якості; управління якістю проектів; управління проектами розвитку міських територій; планувальна структура міста; містобудування.

Rybak A.I., Balduk G.P., Azarova I.B. Model of the quality assessment of urban environment

Purpose. The rapid growth of cities all around the world is accompanied by a number of problems, which may be resolved based on the project approach. This requires a clear identification of the urban system problematic level that do not provided by existing methods. Therefore, the aim of the study is to create the integrated assessment model of the urban environment quality from the city resident perspective, which carried out for each of the urban environment planning levels.

Methods. The methodological basis of the study is the methods of qualimetric assessment, expert assessments, ranking and reference comparison.

Scientific novelty. Proposed model provides assessments of the urban environment quality performed from city dweller point of view consistently at each of the urban environment planning levels - from the individual space of a city dweller to the level of a block, district and city as a whole. It distinguishes the model from existing ones.

Practical value. The developed model makes it possible to identify the level of the city planning structure with urban environment quality problems. To solve such problems, city authorities may initiate appropriate urban areas development projects aimed at improving the urban environment quality. The proposed urban environment quality assessment model also allows to assess the resulting quality of urban planning projects during the pre-project analysis and to select projects with maximum urban environment quality.

Results. The proposed urban environment quality assessment model allows us to get a comprehensive perception picture of the urban environment from the perspective of a city dweller. The obtained complex indicator determines the urban environment quality at each of the planning levels. It also indicates the specific city planning structure level with quality problems and necessary measures to eliminate them using the project approach.

Keywords: urban environment quality; quality control; project quality management; management of urban development projects; planning structure of the city; urban planning

УДК 622.2+658.5:519.1.51-3

Грін'юв В.Г., Хорольський А.О., Мамайкін О.Р. Оцінка стану та оптимізація параметрів технологічних схем вугільних шахт

Мета. Розробити інструмент оцінки стану технологічних схем вугільних шахт, який базується на дослідженні реального стану технологічної мережі з урахуванням ієрархічних зв'язків між елементами системи.

Методи досліджень. Був використаний комплексний метод досліджень, який включає статистичний аналіз для встановлення залежності між показником технічного потенціалу та низкою незалежних показників виробничо-господарської діяльності шахти, багатокритеріальний метод Парето щодо оцінки рівня потенціалу та сприйняття

вугільної шахти до інновацій. Використано методи дискретної математики на мережних моделях для оптимізації параметрів експлуатації та впорядкування структури виробничих зв'язків.

Наукова новизна. Встановлено закономірності формування виробничо-господарської діяльності вугільних шахт, які враховують рівень концентрації гірничих робіт, продуктивність праці, темпи посування лінії очисного вибою, собівартість готової продукції. Було розроблено математичні моделі, що описують показник «технічний потенціал», який базується на дослідженні залежностей між даним показником і гірничо-геологічними і технологічними показниками шахти. Доведено, що відтворення оптимальних значень параметрів технологічної схеми означає повну реалізацію економічного потенціалу шахти, тобто гранично досяжного (еталонного) рівня, оскільки відповідність цьому рівню робить технологічну схему шахти сприйнятливою до інновацій.

Практична значимість. Запропоновано модель для дослідження ефективності технологічних схем вугільних шахт щодо оцінки рівня потенціалу та сприйняття до інновацій. Подальше представлення структури виробничих зв'язків у вигляді мережевої моделі дозволяє знизити собівартість видобутку, підвищити продуктивність праці.

Результати. Наведений підхід може бути застосований при оперативному та довгостроковому плануванні діяльності підприємств вугільної та суміжної галузей виробництва, також для визначення максимально досяжної величини економічної доданої вартості. Для реалізації описаних методик було розроблено відповідне програмне забезпечення.

Ключові слова: технологічна схема, потенціал, статистичний аналіз, параметри, оптимізація, мережа, програмне забезпечення.

Гринев В.Г., Хорольский А.А., Мамайкин А.Р. Оценка состояния и оптимизация параметров технологических схем угольных шахт

Цель. Разработать инструмент оценки состояния технологических схем угольных шахт, основанный на исследовании реального состояния технологической схемы с учетом иерархических связей между элементами системы.

Методы исследований. Был использован комплексный метод исследований, включающий статистический анализ для установления зависимости между показателем технического потенциала и рядом независимых показателей производственно-хозяйственной деятельности шахты, многокритериальный метод Парето для оценки уровня потенциала и восприятия угольной шахты к инновациям. Используются методы дискретной математики на сетевых моделях для оптимизации параметров эксплуатации и упорядочивания структуры производственных связей.

Научная новизна. Установлены закономерности формирования производственно-хозяйственной деятельности угольных шахт, учитывающие уровень концентрации горных работ, производительность труда, темпы продвижения линии очистного забоя, себестоимость готовой продукции. Были разработаны математические модели, описывающие показатель «технический потенциал», основанный на исследовании зависимостей между данным показателем и горно-геологическими и технологическими показателями шахты. Доказано, что воспроизведение оптимальных значений параметров технологической схемы означает полную реализацию экономического потенциала шахты, то есть предельно достижимого (эталонного) уровня, поскольку соответствие этому уровню делает технологическую схему шахты восприимчивой к инновациям.

Практическая значимость. Предложено модель для исследования эффективности технологических схем угольных шахт в оценке уровня потенциала и восприятия к инновациям. Дальнейшее представление структуры производственных связей в виде сетевой модели позволяет снизить себестоимость добычи, повысить производительность труда.

Результаты. Приведенный подход может быть применен при оперативном и долгосрочном планировании деятельности предприятий угольной и смежных отраслей производства, а также для определения максимально достижимой величины экономической прибавочной стоимости. Для реализации описанных методик было разработано соответствующее программное обеспечение.

Ключевые слова: технологическая схема, потенциал, статистический анализ, параметры, оптимизация, сеть, программное обеспечение.

Griniov, V.G., Khorolskyi, A.O., Mamaikin, O.R. State estimation and parameter optimization of operation schedules of coal mines

Purpose. The development of a tool to estimate the state of operation schedules of coal mines relying upon the analysis of actual state of an operation schedule taking into consideration hierarchic connections between the system components.

Research methods. Comprehensive research method has been applied. The method involves statistical analysis to determine the dependence between performance potential index and a number of independent indices concerning production and commercial operations of a mine, and multicriteria Pareto method to estimate level of potential and coal mine reception of innovations. Methods of discrete mathematics have been used in the context of network models to optimize operational parameters and to normalize a structure of manufacturing relations.

Scientific novelty. Regularities, concerning formation of production and commercial operations of mines, have been determined. The regularities involve concentration level of mining, labour productivity, stope advance, and prime cost of end product. Mathematical models, describing “performance potential” index, have been developed. The index is based upon the analysis of dependences between it and mining and geological as well as technological parameters of a mine. It has been proved that simulation of optimum parameter values of operation schedule means complete implementation of economic potential of the mine, i.e. ultimately achievable (reference) level since the level correspondence makes operation schedule of a mine receptive to innovations.

Practical value. A model has been proposed to analyze the efficiency of operation schedules of coal mines as for the estimation of a level of potential and coal mine reception of innovations. Further representation of a structure of manufacturing relations in the form of a network model helps reduce prime cost of mining and to increase labour productivity.

Results. The approach can be applied in the process of operative and long-term planning of activities by coal industry enterprises as well as enterprises belonging to the related industries, and to determined ultimately achievable rate of economic surplus value. Corresponding software has been developed to implement the methods.

Keywords: operation schedule, potential, statistical analysis, parameters, optimization, network, software.

УДК 614.8:331.45:331.421:331.582.2

Данова К.В. Використання методу аналізування видів і наслідків відмов у дослідженні ризиків на робочому місці працівника із інвалідністю

Мета. Дослідження інформаційних можливостей методу аналізування видів і наслідків відмов у оцінці ризиків на робочому місці працівника із інвалідністю з метою розробки заходів щодо попередження виникнення небезпечних ситуацій, пов'язаних із травмуванням працівника чи створенням аварійної ситуації на об'єкті. Особливу увагу приділено аналізу невідповідностей, що виникають при роботі працівника за наявності стійких вад у стані здоров'я, які обумовлюють особливу вразливість цієї категорії працівників із погляду виробничої безпеки.

Методика дослідження. Методика ґрунтується на використанні принципів системного аналізу на базі вивчення інформації про технологічний процес, що розглядається, особливості виробничого обладнання, а також вплив стану здоров'я працівника на безпеку праці. Метод аналізування видів і наслідків відмов (Failure Mode Effect Analysis) є загальноновизнаним у світовому фаховому співтоваристві методом управління ризиками, зокрема у сфері охорони праці, використання якого дозволяє сформувати перелік невідповідностей, які призводять до виникнення небезпек, та дає інформацію, необхідну для розуміння факторів, що впливають на роботу системи «обладнання – працівник із інвалідністю» в аспекті безпеки праці.

Наукова новизна. Полягає у формуванні переліку невідповідностей на робочому місці працівника та визначенні пріоритетного числа ризику, що може бути використано для прийняття управлінських рішень для подальшої розробки заходів із попередження виробничого травматизму та підвищення загального рівня безпеки на підприємстві.

Практичне значення. Полягає у вивченні можливості використання даного підходу до удосконалення системи управління охороною праці на підприємстві із урахуванням безпеки працівників із інвалідністю, що сприятиме зростанню чисельності осіб із стійкими вадами здоров'я, яких буде працевлаштовано на виробництві.

У результаті використання методу аналізування видів і наслідків відмов на прикладі робочого місця працівника, який виконує виробничі операції на металообробному верстаті, отримано кількісні показники ризику із урахуванням важкості наслідків та можливостей своєчасної ідентифікації невідповідностей. Це дає можливість визначити пріоритетні шляхи щодо вдосконалення стану охорони праці на робочому місці.

Ключові слова: ризик, працівник, інвалідність, безпека, відмова, травматизм.

Данова К.В. Применение метода анализа видов и последствий отказов в исследовании рисков на рабочем месте работника с инвалидностью

Цель. Исследование информационных возможностей метода анализа видов и последствий отказов в оценке рисков на рабочем месте работника с инвалидностью с целью разработки мероприятий по предупреждению возникновения опасных ситуаций, связанных с травмированием работника или созданием аварийной ситуации на объекте. Особое внимание уделено анализу несоответствий, возникающих при работе работника при наличии устойчивых недостатков в состоянии здоровья, которые обуславливают особую уязвимость этой категории работников с точки зрения производственной безопасности.

Методика исследования. Методика основывается на использовании принципов системного анализа на базе изучения информации касательно особенностей технологического процесса рассматриваемого производственного оборудования, а также влияние состояния здоровья работника на безопасность труда. Метод анализа видов и последствий отказов (Failure Mode Effect Analysis) является общепризнанным в мировом профессиональном сообществе методом управления рисками, в частности в сфере охраны труда, использование которого позволяет сформировать перечень несоответствий, которые приводят к возникновению опасностей, и дает информацию для понимания факторов, влияющих на работу системы «оборудования - работник с инвалидностью» в аспекте безопасности труда.

Научная новизна. Заключается в формировании перечня несоответствий на рабочем месте работника и определении приоритетного числа риска, который может быть использован для принятия управленческих решений для дальнейшей разработки мероприятий по предупреждению производственного травматизма и повышения общего уровня безопасности на предприятии.

Практическое значение. Заключается в изучении возможности использования данного подхода к совершенствованию системы управления охраной труда на предприятии с учетом безопасности работников с инвалидностью, что будет способствовать росту числа лиц со стойкой потерей трудоспособности, которые будут трудоустроены на производстве.

В результате использования метода анализа видов и последствий отказов на примере рабочего места работника, выполняющего производственные операции на металлообрабатывающем станке, получены количественные показатели риска с учетом тяжести последствий и возможностей своевременной идентификации несоответствий. Это дает возможность определить приоритетные пути по совершенствованию состояния охраны труда на рабочем месте.

Ключевые слова: риск, работник, инвалидность, безопасность, отказ, травматизм.

Danova K.V. Analysis of types and consequences of failures in research of risks at the workplace of a worker with disability

Purpose. Investigation of information capabilities of the method of analysis of types and consequences of failures in assessing risks at the workplace of an employee with a disability in order to develop measures to prevent the occurrence of hazardous situations associated with injuring an employee or creating an emergency at the facility. Particular attention is paid to the analysis of discrepancies that occur when an employee works in the presence of persistent deficiencies in health status, which cause the particular vulnerability of this category of workers from the point of view of occupational safety.

Research methods. The system analysis based on the study of information regarding to the features of technological process and production equipment that is concerned, and the influence of the employee's health on occupational safety. The method of analysis of types and consequences of failures (Failure Mode Effect Analysis) is a generally acknowledged in the world professional community method of risk management, in particular in the field of occupational safety, the use of which allows to form a list of inconsistencies that lead to the occurrence of hazards and provides information which is necessary for under-

standing the factors affecting the work of the “equipment - worker with disability” system in the aspect of occupational safety.

Scientific novelty. The scientific novelty consists in forming a list of inconsistencies at the workplace of an employee and determining the priority number of risks that can be used to make management decisions to further developing the measures to prevent occupational injuries and improve the overall level of safety at the enterprise.

Practical value. The using this approach to improve the occupational safety management system at the enterprise, taking into account the safety of workers with disabilities, which will favor to an increase of the number of people with permanent disabilities who will be employed at the enterprises.

As a result of using the method of analysis of types and consequences of failures, on the example of the workplace of an employee performing production operations on a metalworking machine, obtained quantitative risk index taking into account the severity of the consequences and the possibility of timely identification of nonconformities. This gives an opportunity to identify priority ways to improve the occupational safety state at the workplace.

Keywords: risk, employee, disability, safety, failure, injury.

УДК 159.947.24

Крячко В.Г. Охорона праці у вищих навчальних закладах щодо емоційного вигорання науково-педагогічних працівників

Мета. У системі охорони праці вищих навчальних закладів недостатня увага приділяється заходам щодо запобігання формування у викладачів синдрому емоційного вигорання. За мету у статті поставлено дослідити формування стану емоційного вигорання, визначити фактори професійної діяльності, що викликають стан емоційного вигорання науково-педагогічних працівників та шляхи його попередження і усунення.

Методи дослідження. У статті використано загальнонаукові методи дослідження. За основу при проведенні дослідження було покладено системний підхід. За допомогою аналізу та порівняння виокремлено особливості професійної діяльності науково-педагогічних працівників, визначено фактори формування стану емоційного вигорання та шкідливі фактори виробничої діяльності. Метод узагальнення дав змогу визначити шляхи подолання формування стану емоційного вигорання у науково-педагогічних працівників.

Наукова новизна. У статті досліджено особливості професійної діяльності науково-педагогічних працівників, розкрито фактори, що впливають на формування стану емоційного вигорання їх у професійній діяльності.

Практична значимість. Виділено професійні особливості, зокрема, велика інтелектуальна, висока емоційна напруга, низька рухова активність, нерегламентований та нерівномірний графік роботи, можливість виникнення конфліктних ситуацій, інформаційне перенавантаження, потреба підвищеної уваги та концентрації, що впливають на формування стану емоційного вигорання науково-педагогічних працівників. Визначено шкідливі фактори виробничої діяльності відповідно до законодавства з охорони праці.

Результати. Надані пропозиції щодо організації роботи служби охорони праці стосовно профілактики і подолання стану емоційного вигорання у вищих навчальних закладах сприятиме покращенню емоційно-психологічного стану працівників та підвищенню ефективності навчального процесу.

Ключові слова: охорона праці, емоційне вигорання, професійне вигорання, симптоми емоційного вигорання, напруження, резистенція, виснаження, науково-педагогічні працівники, професійна діяльність науково-педагогічних працівників

Крячко В.Г. Охрана труда в высших учебных заведениях по эмоциональному выгоранию научно-педагогических работников

Цель. В системе охраны труда высших учебных заведений недостаточное внимание уделяется мерам по предотвращению формирования у преподавателей синдрома эмоционального выгорания. Целью в статье поставлена – исследовать форму и состояние эмоционального выгорания, определить факторы профессиональной деятельности, вызывают состояние эмоционального выгорания научно-педагогических работников и пути его предупреждения и устранения.

Методы исследования. В статье использованы общенаучные методы исследования. За основу при проведении исследования было положено системный подход. С помощью анализа и сравнения выделены особенности профессиональной деятельности научно-педагогических работников, определены факторы формирования состояния эмоционального выгорания и вредные факторы производственной деятельности. Метод обобщения позволил определить пути преодоления формирования состояния эмоционального выгорания у научно-педагогических работников.

Научная новизна. В статье исследованы особенности профессиональной деятельности научно-педагогических работников, раскрыты факторы, влияющие на формирование состояния эмоционального выгорания их в профессиональной деятельности.

Практическая значимость. Выделены профессиональные особенности, в частности, большая интеллектуальная, высокое эмоциональное напряжение, низкая двигательная активность, нерегламентированный и неравномерное график работы, возможность возникновения конфликтных ситуаций, информационные перегрузки, потребность повышенного внимания и концентрации, влияющие на формирование состояния эмоционального выгорания научно-педагогических работников. Определены вредные факторы производственной деятельности в соответствии с законодательством по охране труда.

Результаты. Представлены предложения по организации работы службы охраны труда по профилактике и преодолению состояния эмоционального выгорания в высших учебных заведениях будет способствовать улучшению эмоционально-психологического состояния работников и повышению эффективности учебного процесса.

Ключевые слова: охрана труда, эмоциональное выгорание, профессиональное выгорание, симптомы эмоционального выгорания, напряжение, резистенция, истощение, научно-педагогические работники, профессиональная деятельность научно-педагогических работников

Kriachko V.G. Emotional exhaustion of scientific-pedagogical personnel in higher educational establishments, the occupational safety and health management system

Purpose. The Safety and Health Management System in higher educational establishments is one of the mainstreams in current researches. As cross-sectional studies have shown, there is an urgent need in certain improvements to integrate the HS Management as an essential part of successful management strategy in educational establishments to avoid the burnout syndrome. The aim of the article is to study the causes, risk factors and consequences of scientific-pedagogical personnel' job burnout, the ways of its treatment and prevention.

Research methods. Several general scientific methods have been used in examining the issue. The basic method under research is systematic approach. The causes of emotional exhaustion and risk factors of occupational burnout typical for scientific-pedagogical personnel are identified according to analysis and comparative methods. The ways of overcoming the professional burnout are generalized using synthesis method.

Scientific novelty. The article touches upon the peculiarities of the professional activities of scientific-pedagogical personnel. It also indicates the factors causing their emotional and occupational burnout and reveals the influence of burnout syndrome on professional activity.

Practical value. Some essential occupational features, such as intellectual tension, emotional exhaustion, low move activity, non-regulated timetable, work-related stress, information overload, constant need in high attention and concentration, are shown and reviewed. They are proved to cause the burnout syndrome of scientific-pedagogical personnel. Risk factors of professional activity are depicted in accordance with Occupational Safety and Health Law.

Results. Some practical directions to integrate the HS Management as an essential part of successful management strategy in educational establishments to prevent the burnout syndrome are offered. The ways to improve emotional-psychological state of scientific-pedagogical personnel and make the teaching process more effective are suggested.

Keywords: Occupational Safety and Health, burnout syndrome, occupational burnout, symptoms of emotional burnout, work-related stress, tension, resistivity, emotional exhaustion, scientific-pedagogical personnel, professional activity of scientific-pedagogical personnel

УДК 004.415.25

Переверзев А.В., Арутюнян В.Е. Інформаційні технології у рішенні задач систем масового оповіщення, перспективи їх вдосконалення та розвитку

Мета. Аналітичний огляд сучасних систем масового оповіщення: алгоритмів роботи систем, їх переваг та обмежень, можливостей модернізації та подальшого використання.

Методи. В роботі представлені різноманітні методи та технології побудови сучасних систем масового оповіщення населення з використанням сирен електронного та механічного типу, пневмосирен, телебачення, сайтів, мобільних додатків для девайсів потерпілих. В огляді представлено опис алгоритму роботи кожної системи, її цілі, технології використання, переваги та обмеження. Також проаналізовані завдання по вдосконаленню і можливості модернізації представлених систем.

Наукова новизна. Елементом наукової новизни є аналіз переваг та недоліків представлених в огляді систем, які необхідно враховувати при розробці систем масового оповіщення на основі мобільних додатків: J-ALERT – супутникова система, що працює в Японії; IPAWS – інтегрована система масового попередження та оповіщення в США і RSO – Регіональна система оповіщення (Польща).

Практична значимість. Результати представленого аналітичного огляду дозволять враховувати недоліки подібних систем при їх використанні та при розробці сучасних алгоритмів та програмних комплексів оповіщення населення у надзвичайних ситуаціях.

Результати. Представлені в аналізі системи використовують застарілі методи оповіщення і передачі даних населенню, не мають необхідної точності і можливості динамічних змін сповіщень для конкретного абонента; не використовують зворотний зв'язок від користувачів до системи, корисні функції смартфонів. У IPAWS відсутні додатки для мобільних девайсів, смартфони використовуються тільки для отримання push-повідомлень і sms. J-ALERT, як і RSO не мають зворотнього зв'язку від потерпілих через мобільні пристрої, через це – гнучкі і динамічні зміни в оповіщенні населення при зміні різних чинників загрози або переміщенню потерпілих в процесі евакуації є неможливими. Врахування означених недоліків є важливим для реалізації ряду функцій в програмному комплексі, які можливо використовувати як окремий компонент системи масового оповіщення або як додатковий модуль до вже існуючих систем.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, система масового оповіщення населення, мобільний додаток, супутникова система, повідомлення про оповіщення, протокол, програмно-апаратний комплекс.

Переверзев А.В., Арутюнян В.Э. Информационные технологии в решении задач массового оповещения, перспективы их усовершенствования и развития

Цель. Аналитический обзор современных систем массового оповещения: алгоритмов работы систем, их преимуществ и ограничений, возможностей модернизации и дальнейшего использования.

Методы. В работе представлены различные методы и технологии построения современных систем массового оповещения населения с использованием сирен электронного и механического типа, пневмосирен, телевидения, сайтов, мобильных приложений для девайсов пострадавших. В обзоре представлено описание алгоритма работы каждой системы, ее цели, технологии использования, преимущества и ограничения. Также проанализированы задачи по совершенствованию и возможности модернизации представленных систем.

Научная новизна. Элементом научной новизны является анализ преимуществ и недостатков представленных в обзоре систем, которые необходимо учитывать при разработке систем массового оповещения на основе мобильных приложений: J-ALERT - спутниковая система, работающая в Японии; IPAWS - интегрированная система массового предупреждения и оповещения в США и RSO - Региональная система оповещения (Польша).

Практическая значимость. Результаты представленного аналитического обзора позволят учитывать недостатки подобных систем при их использовании и при разработке современных алгоритмов и программных комплексов оповещения населения в чрезвычайных ситуациях.

Результаты. Представленные в анализе системы используют устаревшие методы оповещения и передачи данных населению, не имеют необходимой точности и возможности динамических изменений уведомлений для конкретного абонента не используют обратную связь от пользователей к системе, полезные функции смартфонов. В IPAWS отсутствуют приложения для мобильных устройств, смартфоны используются только для получения push-сообщений и sms. J-ALERT, как и RSO не имеют обратной связи от пострадавших через мобильные устройства, поэтому - гибкие и динамичные изменения в оповещении населения при изменении различных факторов угрозы или перемещению пострадавших в процессе эвакуации невозможны. Учет указанных недостатков является важным для реализации ряда функций в программном комплексе, которые можно использовать как отдельный компонент системы массового оповещения или как дополнительный модуль к уже существующим системам.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, система массового оповещения населения, мобильное приложение, спутниковая система, сообщение оповещения, протокол, программно-аппаратный комплекс.

Pereverzev, A.V., Arutiunian, V.E. Information technologies in the solution of mass notification systems, prospects for their improvement and development

Purpose. An analytical review of modern systems of mass notification: algorithms of systems operation, their advantages and limitations, possibilities of modernization and further use.

Research methods. The paper presents various methods and technologies for building modern systems of mass public notification using electronic and mechanical type sirens, pneumohire, television, websites, mobile applications for devices affected. The review presents a description of the algorithm of each system, its goals, technologies of use, advantages and limitations. The tasks of improvement and the possibility of upgrading the presented systems are also analyzed.

Scientific novelty. An element of scientific novelty of the study is an analysis of the advantages and disadvantages of the systems presented in the review, which should be considered in the development of mobile notification systems based on mobile applications: J-ALERT (satellite system operating in Japan); IPAWS (an integrated system of mass alert and alert in the US); RSO (regional notification system in Poland).

Practical value. The results of the presented analytical review will make it possible to take into account the shortcomings of such systems when using them and in developing modern algorithms and software systems for alerting the public in emergency situations.

Results. The systems presented in the analysis use outdated methods of alerting and transmitting data to the population; they do not have the necessary accuracy and possibility of dynamic changes of alerts for a particular subscriber; Do not use feedback from users to the system, useful functions of smartphones. IPAWS does not have applications for mobile devices, smartphones are used only for push messages and sms. J-ALERT, like the RSO, has no feedback from victims via mobile devices, because of this - flexible and dynamic changes in the notification of the population when changing the various factors of the threat or the movement of victims during the evacuation process is impossible. Taking into account the identified shortcomings is important for the implementation of a number of functions in the software suite, which can be used as a separate component of the mass alert system or as an additional module to existing systems.

Keywords: emergency situation, mass population alert system, mobile application, satellite system, alert messages, protocol, software and hardware complex.

УДК 322.2

Куліковська О.Є., Атаманенко Ю.Ю., Копайгора О.К. Проблеми впровадження сучасного геодезичного обладнання у кадастровій діяльності Кривого Рогу

Мета. Дослідження економічної ефективності кадастрових і землепорядних робіт із застосуванням новітньої геодезичної навігаційної техніки та електронних тахеометрів.

Методи. Розгляд зарубіжних публікацій дозволяє стверджувати, що простежується чітка тенденція до інтенсивного застосування сучасного геодезичного обладнання. Проте відсутній єдиний підхід до розв'язання окремих задач, наприклад, які прилади і методи варто ефективніше використовувати на практиці з метою удосконалення топографо-геодезичного та картографічного забезпечення кадастрових робіт. Немає також конкретних рекомендацій щодо вживання методів із застосуванням портативних засобів спостережень, як і єдиних відомостей щодо досягнення відповідної точності результатів.

Наукова новизна. Сформульовано критерії ефективності використання геодезичного обладнання в умовах Криворізького регіону, представлено оцінку ефективності використання нової техніки і технологій на виробництві, проаналізовано використання новітньої геодезичної техніки, досліджено економічну ефективність кадастрових і землепорядних робіт із застосуванням електронних тахеометрів.

Практична значимість. Подано загальні напрями, які показали, що в умовах ринкових відносин кожне підприємство для забезпечення свого зростання і стабільності положення на ринку має проводити відповідну політику щодо капіталовкладень, здійснювати вибір пріоритетних напрямів технічного розвитку. Цей вибір здійснюється на основі оцінки ефективності обраних напрямленостей, що проводиться на стадіях планування і проектування своєї діяльності.

Результати. Виконано аналіз техніко-економічних показників топографо-геодезичного забезпечення кадастрових і землепорядних робіт, сформульовано критерії їх виробничої продуктивності, досліджено фактори, що впливають на їх ефективність, простежено виробничі ресурси підприємств, охарактеризовано основні інструментальні засоби, описано виконання робіт, розглянуто перспективи удосконалення технології виконання геодезичних та кадастрових робіт.

Ключові слова. геодезична техніка, фактори ефективності, техніко-економічні показники, ресурси, апаратура супутникових радіонавігаційних систем, електронні тахеометри.

Куликовская О.Е., Атаманенко Ю.Ю., Копайгора О. К. Проблемы внедрения современного геодезического оборудования в кадастровой деятельности Кривого Рога

Цель. Исследование экономической эффективности кадастровых и землеустроительных работ с использованием современной геодезической навигационной техники и электронных тахеометров.

Методы. Рассмотрение зарубежных публикаций позволяет утверждать, что прослеживается четкая тенденция к интенсивному применению современного геодезического оборудования. Однако отсутствует единый подход к решению отдельных задач, например, какие приборы и методы следует эффективнее использовать на практике с целью совершенствования топографо-геодезического и картографического обеспечения кадастровых работ. Нет также конкретных рекомендаций по употреблению методов с применением портативных средств наблюдений, как и единых сведений о достижении соответствующей точности результатов.

Научная новизна. Сформулированы критерии эффективности использования геодезического оборудования в условиях Криворожского региона, представлена оценка эффективности использования новой техники и технологий на производстве, проанализировано использование новейшей геодезической техники, исследовано экономическую эффективность кадастровых и землеустроительных работ с применением электронных тахеометров.

Практическая значимость. Представлены общие направления, которые показали, что в условиях рыночных отношений каждое предприятие для обеспечения своего роста и стабильности положения на рынке должно проводить соответствующую политику в отношении капиталовложений, осуществлять выбор приоритетных направлений технического развития. Этот выбор осуществляется на основе оценки эффективности выбранных направленностей, что проводится на стадиях планирования и проектирования своей деятельности.

Результаты. Выполненный анализ технико-экономических показателей топографо-геодезического обеспечения кадастровых и землеустроительных работ позволил сформулировать критерии их производительности, определить факторы, влияющие на их эффективность, отследить производственные ресурсы предприятий, охарактеризовать основные инструментальные средства. Описано выполнение работ, рассмотрены перспективы совершенствования технологии выполнения геодезических и кадастровых работ.

Ключевые слова: геодезическая техника, факторы эффективности, технико-экономические показатели, ресурсы, аппаратура спутниковых радионавигационных систем, электронные тахеометры.

Kulikowska O.Ye., Atamanenko Yu.Yu., Kopaihora O.K. Problems of the modern land surveying equipment implementation in Kryvyi Rih cadastral activities

Purpose. To research of economic efficiency of cadastral and land surveying works using the latest geodetic navigation equipment and electronic tacheometers.

Research methods. The review of overseas publications suggests there is a clear tendency towards the intensive use of modern land surveying equipment. However, there is no single approach to solving specific problems, for example, which instruments and methods should be used more effectively in practice in order to improve the topographic-geodesic and cartographic provision of cadastral works. There are also no specific recommendations for the use of methods using portable means of observation, as well as unified information for achieving the appropriate accuracy of the results.

Scientific novelty. The criteria of efficiency of the use of geodetic equipment in the conditions of the Kryvyi Rih region are formulated, an estimation of the efficiency of the use of new equipment and technology in production is analyzed, the use of modern the use of the latest land surveying technique is analyzed, economic efficiency of cadastral and land management works with the use of electronic tacheometers is investigated.

Practical value. The general directions, which showed that in conditions of market relations, each enterprise, in order to ensure its growth and stability the market situation, should pursue an appropriate investment policy, to choose the priority directions of technical development have been presented. This choice is made on the basis of the evaluation of the effectiveness of selected destinations, which is carried out at the stages of planning and designing their activities

Results. The analysis of technical and economic indicators of topographic and geodesic support of cadastral and land surveying works is formulated, criteria of their productive efficiency are formulated, factors influencing their efficiency have been investigated, industrial resources of enterprises have been traced, the main instrumental means have been characterized, the work of works has been described, prospects of improvement of the geodetic and cadastral works.

Keywords. geodesic technology, factors of efficiency, technical and economic indicators, resources, equipment of satellite radio navigational systems, electronic tacheometers.

УДК 669.1.017.3: 661.88

Бабошко Д. Ю., Губин Г.Г., Кравчук Л.Н., Губина В. Г., Зима С.Н. Пирометаллургия титаномагнетитовых концентратов коренных комплексных руд

Цель. Исследования физико-химических и структурно-фазовых превращений при пирометаллургическом дообогащении титаномагнетитового промпродукта, для установления параметров производства железосодержащих и титаносодержащих товарных продуктов.

Методы исследования. Для решения поставленной цели привлекался комплекс экспериментальных и расчетных методов: микроскопический для определения минералогического состава и строения титаномагнетитового промпродукта; спектральный анализ – для изучения химического состава зерен титаномагнетита; структурно-текстуальный анализ - для оценки новообразованных фаз при карботермическом восстановлении; рентгено-флюоресцентный анализ для оценки изменения химического состава железосодержащего и титаносодержащего продуктов; статистические методы для обработки результатов исследований. Также использовались вспомогательные методы - макро- и микрофотосъемки, компьютерная обработка текстового, цифрового и графического материала.

Научная новизна. Научная новизна состоит в следующем: дальнейшее развитие получили представления о структуре зерен магнетита; впервые при карботермическом восстановлении установлены и определены структурнофазовые превращения минерального состава титаномагнетитового промпродукта с содержанием TiO_2 более 20%; впервые определено, что формирование железосодержащего и титаносодержащего продуктов с максимальным извлече-

нием в них металлического железа и диоксида титана обеспечивается при условии двухступенчатого процесса восстановления; определено, что формирование и образование металлических гранул происходит благодаря возникновению диффузии, аутогезии и поверхностного натяжения, что приводит к коалесценции металлического железа.

Практическое значение. На основании экспериментальных исследований показано, что при карботермическом восстановлении в кольцевой печи с вращающимся подом титаномагнетитового промпродукта с массовой долей TiO_2 более 20% установлены технологические параметры производства товарных продуктов: гранулированного чугуна с содержанием 92-96,5% железа, 3,4-3,7% углерода, 0,5% ванадия и титанового шлака с содержанием 50-55% диоксида титана и 7,4-8,4% закиси железа.

Результаты. Внедрение разработанной технологии для переработки коренной руды апатит-титаномагнетит-ильменитового состава, в частности Кропивенского месторождения обеспечит получение ожидаемого экономического эффекта, в среднем за один 23,99 млн грн.

Ключевые слова: россыпи, коренные руды, титаномагнетит, ильменит, углерод, восстановление, металлическое железо, титаносодержащий шлак.

Бабошко Д. Ю., Губін Г. Г., Кравчук Л.М., Губіна В. Г., Зима С. М. Пірометалургія титаномагнетитових концентратів корінних комплексних руд

Мета роботи. Дослідження фізико-хімічних і структурно-фазових перетворень при пірометалургійному збагаченні титаномагнетитового промпродукту, для встановлення параметрів виробництва залізовмісних і титановмісних товарних продуктів.

Методи дослідження. Для вирішення поставленої мети застосовувалися комплекс експериментальних і розрахункових методів: мікроскопічний для визначення мінералогічного складу та будови титаномагнетитового промпродукту; спектральний аналіз - для вивчення хімічного складу зерен титаномагнетиту; структурно-текстурний аналіз - для оцінки новостворених фаз при карботермічному відновленні; рентгено-флюоресцентний аналіз для оцінки зміни хімічного складу залізовмісного і титановмісного продуктів; статистичні методи для обробки результатів досліджень. Також використовувалися допоміжні методи – макро- і мікрофотографування, комп'ютерна обробка текстового, цифрового і графічного матеріалу.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в наступному: в подальшому розвитку отримали уявлення про структуру зерен магнетиту; вперше при карботермічному відновленні встановлені і визначені структурно-фазові перетворення мінерального складу титаномагнетитового промпродукту з вмістом TiO_2 більше 20%; вперше визначено, що формування залізовмісного і титановмісного продуктів з максимальним витягом в них металевго заліза і діоксиду титану забезпечується за умови двохступінчатого процесу відновлення; визначено, що формування і утворення металевих гранул відбувається завдяки виникненню дифузії, аутогезії і поверхневого натягу, що призводить до коалесценції металевго заліза.

Практичне значення. На підставі експериментальних досліджень показано, що при карботермічному відновленні в кільцевій печі з обертовим подом титаномагнетитового промпродукту з масовою часткою TiO_2 більше 20% встановлені технологічні параметри виробництва товарних продуктів: гранульованого чавуну з вмістом 92-96,5% заліза, 3,4-3,7% вуглецю, 0,5% ванадію і титанового шлаку з вмістом 50-55% діоксиду титану і 7,4-8,4% закиси заліза.

Результати. Впровадження розробленої технології для переробки корінної руди апатит-титаномагнетит-ильменитового складу, зокрема Кропивенського родовища забезпечить отримання економічного ефекту, в середньому за один рік 23,99 млн грн.

Ключові слова: розсипи, корінні руди, титаномагнетит, ільменіт, вуглець, відновлення, металеве залізо, титановмісний шлак.

Baboshko D. Yu. Gubin G.G., Kravchuk L.N., Gubina V. G., Zyma S. N. Pyrometallurgy of titanomagnetite concentrates of native complex ores

Purpose. To study the physico-chemical and structural-phase transformations in the pyrometallurgical enriched titanomagnetite product in order to determine the parameters of production of iron-containing and titanium-containing products.

Research methods. A complex of experimental and calculation methods was used: microscopic to determine the mineralogical composition and structure of the titanomagnetite middling; spectral analysis - to study the chemical composition of titanomagnetite grains; structural and textural analysis - to assess the newly formed phases during carbothermal recovery; X-ray fluorescence analysis to assess changes in the chemical composition of iron-containing and titanium-containing products; statistical methods for processing research results. Auxiliary methods - macro and microphotographing, computer processing of text, digital and graphic material.

Scientific novelty. Further development ideas about the structure of magnetite grains; for the first time during the carbothermal reduction, the structural and phase transformations of the mineral composition of the titanomagnetite intermediate product with a TiO_2 content of more than 20% have been established and determined; it was first determined that the formation of iron-containing and titanium-containing products with the maximum extraction of metallic iron and titanium dioxide in them is provided under the condition of a two-step reduction process; it is determined that the formation and formation of metal grains occurs due to the occurrence of diffusion, autohesion and surface tension, which leads to the coalescence of metallic iron.

Practical value. On the basis of experimental studies, it was shown that in the case of a carbothermal reduction in an annular rotary hearth furnace of a titanomagnetite middling with a TiO_2 mass fraction of more than 20%, the technological parameters for the production of commercial products were established: granulated iron with a content of 92-96.5% iron, 3.4-3.7% carbon, 0.5% vanadium and titanium slag with a content of 50-55% titanium dioxide and 7.4-8.4% ferrous oxide.

Results. Developed technology adoption for the processing of apatite-titanomagnetite-ilmenite ledge ore, in particular, the Kropivensky deposit will provide the expected economic effect, on average, for one UAH 23.99 million.

Keywords: deposit, ledge ores, titanomagnetite, ilmenite, carbon, restitution, metallic iron, titaniferous slag.

УДК 004.358:621.186.1

Замыцкий О.В., Литовко Б.М., Шепеленко М.И. Використання засобів імітаційного моделювання в лабораторних дослідженнях відцентрового сепаратора краплинної вологи

Мета. В гірничій промисловості, зазвичай використовують систему підготовки стисненого повітря, яке являється основним видом енергії для механізації елементів пневмозабезпечення, таких як пневматичні бурильні машини, відбійні молотки і т.д. Існує проблема постійного забруднення при транспортуванні стисненого повітря від турбокомпресора до споживача. Для забезпечення необхідної надійності та збільшення періоду експлуатації система пневмозабезпечення потребує використання додаткового устаткування для підготовки стисненого повітря. Доцільно в даному випадку використовувати контактну схему охолодження повітря.

Методи. У науковій праці розглянуті основні принципи 3D-моделювання об'єкту дослідження. В якості об'єкта візуалізації була обрана модель відцентрового сепаратора краплинної вологи. Даний апарат проектується та виготовляється в складальному виконанні. Дослідження моделі проводилося з використанням методу кінцевих елементів та методами математичної статистики для обробки даних. Використання імітаційного моделювання як бази для дослідження сепараційних об'єктів дозволяє значно скоротити час та ресурси на виготовлення об'єкта досліджень. Обґрунтованість та достовірність роботи обумовлена аналітичними та експериментальними методами досліджень, які були проведені на віртуальних моделях.

Наукова новизна полягає у встановленні закономірностей раціональних конструктивних та технологічних параметрів сепаратора. Завдяки створенню зменшеної моделі відцентрового сепаратора краплинної вологи, який є частиною апарату контактної системи охолодження стисненого повітря та на її основі виготовлено макетну модель, що дозволить встановити раціональні параметри відцентрових краплевловлювачів системи пневмозабезпечення гірничого устаткування.

Практична значимість. Результати цієї роботи мають практичне значення, так як одержані в ній дані дають змогу збільшити ефективність стандартного обладнання, яке використовується на гірничих виробництвах нашого регіону.

Результати. Робота супроводжується віртуальною моделлю апарату, з допомогою якої є можливим виготовлення прототипу для лабораторного дослідження сепарації. Дана модель відповідає характеристикам реальних об'єктів та процесів.

Ключові слова: повітроохолоджувач, турбокомпресор, відцентровий сепаратор, газорідинна система, краплинна волога, моделювання.

Замыцкий О.В., Литовко Б.М., Шепеленко М.И. Использование средств имитационного моделирования в лабораторных исследованиях центробежного сепаратора капельной влаги

Цель. В горной промышленности, обычно используют систему подготовки сжатого воздуха, которая является основным видом энергии для механизации элементов пневмообеспечения, таких как пневматические бурильные машины, отбойные молотки и т.д. Существует проблема постоянного загрязнения при транспортировке сжатого воздуха от турбокомпрессора к потребителю. Для обеспечения необходимой надежности и увеличения периода эксплуатации система пневмообеспечения требует использования дополнительного оборудования для подготовки сжатого воздуха. Целесообразно в данном случае использовать контактную схему охлаждения воздуха.

Методы. В научной работе рассмотрены основные принципы 3D-моделирования объекта исследования. В качестве объекта визуализации была выбрана модель центробежного сепаратора капельной влаги. Данный аппарат проектируется и изготавливается в сборочном исполнении. Исследование модели проводилось с использованием метода конечных элементов и методами математической статистики для обработки данных. Использование имитационного моделирования как базы для исследования сепарационных объектов позволяет значительно сократить время и ресурсы на изготовление объекта исследований. Обоснованность и достоверность работы обусловлена аналитическими и экспериментальными методами исследований, которые были проведены на виртуальных моделях.

Научная новизна заключается в установлении закономерностей рациональных конструктивных и технологических параметров сепаратора. Благодаря созданию уменьшенной модели центробежного сепаратора капельной влаги, который является частью аппарата контактної системи охолодження сжатого воздуха на ее основе изготовлено макетную модель, позволяющую установить рациональные параметры центробежных каплеуловителей системы пневмообеспечения горного оборудования.

Практическая значимость. Результаты этой работы имеют практическое значение, так как полученные в ней данные позволяют увеличить эффективность стандартного оборудования, которое используется на горных производствах нашего региона.

Результаты. Работа сопровождается виртуальной моделью аппарата, с помощью которой возможно изготовление прототипа для лабораторного исследования сепарации. Данная модель соответствует характеристикам реальных объектов и процессов.

Ключевые слова: воздухоохладитель, турбокомпрессор, центробежный сепаратор, газожидкостная система, капельная влага, моделирование.

Zamytskyi O.V., Litovko B.M., Shepelenko M.I. The use of means of imitation modeling in laboratory researches of the vascular separator of cartridge volume

Purpose. In the mining industry, a compressed air preparation system is usually used, which is the main form of energy for mechanizing pneumatic support elements, such as pneumatic drilling machines, jackhammers, etc. There is a problem of constant pollution during transportation of compressed air from the turbocharger to the consumer. To ensure the necessary reliability and increase the period of operation, the pneumatic supply system requires the use of additional equipment for the preparation of compressed air. It is advisable in this case to use the contact air cooling circuit.

Research methods. The scientific work reviewed the basic principles of 3D-modeling of the object of study. As a visualization object, a model of a centrifugal separator of condensed moisture was chosen. This unit is designed and manufactured in assembly version. The study of the model was carried out using the finite element method and methods of mathematical

statistics for data processing. Using simulation as a base for the study of separation objects can significantly reduce the time and resources for the manufacture of the object of research. The validity and reliability of the work is due to analytical and experimental research methods that were conducted on virtual models.

Scientific novelty consists in establishing the regularities of rational design and technological parameters of the separator. Thanks to the creation of a reduced model of a centrifugal separator of condensed moisture, which is part of the apparatus of the contact cooling system of compressed air, a model model has been made on its basis, which makes it possible to establish rational parameters of the centrifugal droplets of the pneumatic equipment of the mining equipment.

Practical value. The results of this work are of practical importance, since the data obtained in it allow us to increase the efficiency of standard equipment used in the mining industry in our region.

Results. The work is accompanied by a virtual model of the device, with the help of which it is possible to manufacture a prototype for the laboratory study of separation. This model corresponds to the characteristics of real objects and processes.

Keywords: air cooler, turbocharger, centrifugal separator, gas-liquid system, drip moisture, modeling.

УДК 622.14

Федоренко П.Й., Переметчик А.В., Подойніцина Т.О. Гірничо-геометричні методи для оцінки та моделювання залізрудних родовищ Кривбасу

Мета. У статті розглянуто методику геометризції родовищ корисних копалин шляхом вибору оптимального гірничо-геометричного методу оцінки для забезпечення раціонального ведення гірничо-видобувних робіт на основі аналізу та удосконалення існуючих методів геометризції родовищ корисних копалин.

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

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

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

Результати. Обрана оптимальна методика геометризції в умовах криворізьких залізрудних родовищ. Запропоновано вирішення актуальної наукової задачі, що має важливе народногосподарське значення, яка полягає в розробці гірничо-геометричного методу оцінки показників залізрудних родовищ, реалізованого в математичній моделі багатовимірного випадкового геохімічного поля.

Ключові слова: геометризція, методи геометризції родовищ, гірничо-геометричний метод, модель родовища, геометризція залізрудного родовища, перспективне та поточне планування.

Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницына Т.А. Горно-геометрические методы для оценки и моделирования железорудных месторождений Кривбасса

Цель. В статье рассмотрена методика геометризации месторождений полезных ископаемых путем выбора оптимального горно-геометрического метода оценки для обеспечения рационального ведения горнодобывающих работ на основе анализа и совершенствования существующих методов геометризации месторождений полезных ископаемых.

Методы исследования. В основу методики исследования было положено геометризацию месторождений полезных ископаемых и создание геометрической модели месторождения. Для создания геометрической модели залежи, помимо основных дисциплин геологического и горного цикла, необходимо знать проекции, применяемые при геометризации месторождений. На основе теоретических представлений были развиты графические способы построения модели, разработанные методы геометризации различных показателей месторождения. Для решения поставленных задач применялся целый ряд методов, включающих проведения теоретических исследований, лабораторные и промышленные эксперименты.

Научная новизна. Выбрано методику геометризации запасов железорудных месторождений полезных ископаемых на основе анализа и совершенствования существующих методов геометризации запасов полезных ископаемых. В основу анализа свойств полезных ископаемых положено информационный и горно-геометрический анализ месторождения, что позволяет выбрать оптимальную методику геометризации.

Практическое значение. Рассмотрены основные методики оценки горно-геометрических и геологических данных при геометризации месторождений полезных ископаемых и дана их характеристика, позволяющая классифицировать месторождения или их участки, планировать и управлять разведывательными и горными работами. Особенно важным применением геометризации месторождений железорудных полезных ископаемых является оценка их запасов для решения задач перспективного и текущего планирования с тем, чтобы наладить с максимальной эффективностью работу горнодобывающего предприятия.

Результаты. Выбрана оптимальная методика геометризации в условиях криворожских железорудных месторождений. Предложено решение актуальной научной задачи, имеющей важное народнохозяйственное значение, которое заключается в разработке горно-геометрического метода оценки показателей железорудных месторождений, реализованного в математической модели многомерного случайного геохимического поля.

Ключевые слова: геометризация, методы геометризации месторождений, горно-геометрический метод, модель

месторождения, геометризация железорудного месторождения, перспективное и текущее планирование.

Fedorenko P.I., Peremetchyk A.V., Podoinitsyna T.O. Mining-geometrical methods for evaluation and modeling of iron ore deposits of Kryvbas

Purpose. To deal with the method of geometrization of mineral deposits by choosing an optimal mining-geometric estimation method for ensuring rational mining works on the basis of analysis and improvement of existing methods.

Research methods. The research methodology was based on the geometrization of mineral deposits and the creation of a geometric model of the deposit. In order to create a geometric model of the deposit, in addition to the basic disciplines of the geological and mining cycle, it is necessary to know the projections used in geometrization of deposits. On the basis of theoretical ideas, graphic methods of constructing the model were developed, methods of geometrization of various indicators of the field were developed. A number of methods were used to solve the problems including theoretical studies, laboratory and industrial experiments.

Scientific novelty. The method of geometrization of iron ore deposits has been selected on the basis of analysis and improvement of existing methods of geometrization of mineral resources. The analysis of the properties of minerals is the information and mining-geometric analysis of the deposit, which allows you to choose the optimal method of geometrization.

Practical value. The main methods of estimating mining-geometric and geological data in the geometrization of mineral deposits and their characteristic allow to classify deposits or their areas, to plan and manage exploration and mining operation. Particularly important application of geometrization of iron ore minerals is the estimation of their reserves for solving the perspective problems and current planning in order to adjust the efficiency of the operation of the mining enterprise.

Results. The optimum method of geometrization in the conditions of Kryvyi Rih iron ore deposits is chosen. The decision of the actual scientific problem of an important national economic significance consists in the development of mining-geometric method of evaluation of iron ore deposits, realized in the mathematical model of the multidimensional random geochemical field.

Keywords: geometrization, methods of geometrization of deposits, mining-geometric method, model of deposit, geometrization of iron ore deposit, prospective and current planning.

УДК 622.272

Тищенко С.В., Еременко Г.И., Малых Д.Ю. Зависимость процесса взрывного разрушения от физико-механических свойств среды

Цель. Определить факторы качества взорванной горной массы. Исследовать основные закономерности процесса разрушения с использованием теории статистики.

Методы исследований. Значения параметров трещин при воздействии взрывной нагрузки меняются в их совокупности по закону непрерывной случайной величины. Совокупность всех возможных значений параметров в силу непрерывности их изменения образуют некоторую трехмерную область. Горный массив рассматривается как квазиизотропная среда, где размеры трещин не превышают линейные размеры рассматриваемого объема, и беспорядочно ориентированы.

Научная новизна. Рассмотрены продукты детонации, действующих на стенки зарядной камеры и образующие в разрушительном горном массиве очень неоднородное сложное поле напряжений, которое распространяется со скоростью, определяемой физическими свойствами среды. В реальных условиях, даже при равномерном напряжении, поля напряжений имеют локальную неоднородность. На берегах трещин концентрируются напряжения. Этот процесс во многом зависит от их конкретных размеров. Когда величина напряжений достигает величины, трещина начинает расти. При этом процесс развития трещин становится необратимым.

Результаты. Выполненные исследования показывают, что процесс разрушения горных пород при данных характеристиках поля напряжений определяется физическими свойствами разрушаемого массива и его структурными особенностями. Хотя интенсивность дробления разрушаемой среды и зависит от многочисленных факторов, при этом их влияние на характер процесса разрушения неравнозначен. На это указывают и многочисленные исследования. Определяющими факторами качества взорванной горной массы, очевидно, величина и продолжительность импульсного воздействия в разрушаемого массива горных пород и физико-механические свойства последних.

Ключевые слова: разрушаемый массив, интенсивность дробления, разрушения горных пород.

Тищенко С. В., Еременко Г. И., Малих Д.Ю. Залежність процесу вибухового руйнування від фізико-механічних властивостей середовища

Мета. Визначити фактори якості підірваної гірничої маси. Дослідити основні закономірності процесу руйнування з використанням теорії статистики.

Методи досліджень. Значення параметрів тріщин під час впливу вибухового навантаження змінюються в їх сукупності за законом неперервної випадкової величини. Сукупність усіх можливих значень параметрів в силу безперервності їх зміни утворюють деяку тривимірну область. Гірський масив розглядається як квазіізотропне середовище, де розміри тріщин не перевищують лінійні розміри розглянутого об'єкту і безладно орієнтовані.

Наукова новизна. Розглянуто продукти детонації, що діють на стінки зарядної камери, і утворюють в руйнівному гірському масиві дуже неоднорідне складне поле напруг, що поширюється зі швидкістю, яка визначається фізичними властивостями середовища. У реальних умовах, навіть при рівномірній нарузі, поля напружень мають локальну неоднорідність. На берегах тріщин концентруються напруги. Цей процес багато в чому залежить від їх конкретних розмірів. Коли величина напруг досягає величини, тріщина починає рости. При цьому процес розвитку тріщин стає незворотнім.

Результати. Виконані дослідження показують, що процес руйнування гірських порід при даних характеристиках поля напружень визначається фізичними властивостями руйнованого масиву і його структурними особливостями. Хоча інтенсивність дроблення руйнованого середовища і залежить від численних факторів, при цьому їх вплив на характер процесу руйнування нерівнозначний. На це вказують і численні дослідження. Визначальними факторами

якості підірваної гірничої маси, очевидно, є величина і тривалість імпульсного впливу в руйнованому масиві гірських порід і фізико-механічні властивості останніх.

Ключові слова: підірвана маса, інтенсивність дроблення, руйнування гірських порід.

Tyshchenko S.V., Yeriomenko G.I., Malykh D.Yu. Dependence of the explosive destruction on the physicomaterial properties of the environment

Purpose. Determine the quality factors of the blasted rock mass. Investigate the basic laws of the process of destruction using the theory of statistics.

Research methods. The values of the crack parameters under explosive load vary in their entirety according to the law of a continuous random variable. The combination of all possible values of the parameters due to the continuity of their changes form a certain three-dimensional region. The mountain massif is considered as a quasi-isotropic medium, whose dimensions of the cracks do not exceed the linear dimensions of the volume under study, and are randomly oriented.

Scientific novelty. The products of detonation acting on the walls of the charging chamber and forming a very heterogeneous complex stress field in the destructive mountain massif, which propagates at a rate determined by the physical properties of the medium, are considered. In real conditions, even with a uniform load, the stress fields have a local inhomogeneity. On the banks of cracks concentrates stress. This process depends largely on their specific dimensions. When the magnitude of the stresses reaches, the crack begins to grow. At the same time, the process of crack development becomes irreversible.

Results. Studies have shown that the process of destruction of rocks with given characteristics of the stress field is determined by the physical properties of the destroyed array and its structural features. Although the intensity of the crushing destructible environment depends on numerous factors, their influence on the nature of the process of destruction is unequal. This is indicated by numerous studies. The determining factors for the quality of the blasted rock mass are obviously the magnitude and duration of the impulse effect in the rock mass to be destroyed and the physical and mechanical properties of the latter.

Keywords: destroyed array, crushing intensity, rock destruction.

УДК 621.926.9

Дубровський С.С., Реброва С.В. Використання сучасних технологій при виготовленні та ремонті елементів конструкцій гірничо-збагачувального обладнання

Мета. Обґрунтування доцільності застосування полімерних матеріалів для захисту робочих поверхонь гірничо-збагачувального обладнання від абразивного зносу.

Методи дослідження. Узагальнення та групування – для аналізу поглядів науковців на об'єкт дослідження та формулювання висновків контент-аналізу первинних джерел, аналіз і синтез – для з'ясування причин абразивного зносу та обробки статистичних даних, графічний – для наочного відображення отриманих даних.

Наукова новизна. Обґрунтовано можливості впровадження полімерних матеріалів у виробничі та ремонтні технології гірничо-збагачувального обладнання, в яких, на відміну від існуючих, ураховано кумулятивний характер абразивного зносу, що характеризується додаванням до нього корозійних процесів, кавітаційного зносу, адгезійного зносу та інших.

Практична значимість. Впровадження полімерних матеріалів у технології ремонту та відновлення робочих поверхонь гірничо-збагачувального обладнання дозволить значно зменшити фінансові затрати, оскільки не потребує суттєвих капіталовкладень та витрат робочого часу. Рациональне використання фізико-хімічних властивостей полімерних композиційних матеріалів надасть можливість значно знижувати трудомісткість і собівартість ремонту і скорочувати витрати матеріалів на їх проведення.

Результати. Проведено аналіз статистики відмов ґрунтових насосів. З'ясовано, що переважною їх причиною є зношення корпусу та робочого колеса. За результатами проведеного аналізу існуючих підходів указано на відсутність універсальних методів боротьби зі зношуванням, а також загальноприйнятих критеріїв зносостійкості. Ураховано можливості зміни фізико-хімічних показників і, як наслідок, експлуатаційних властивостей полімерів, а також впровадження нових технологій їх нанесення. Показано, що застосування та вдосконалення полімерних композитних матеріалів є перспективним напрямком розвитку технологій ремонту гірничо-збагачувального обладнання. Обґрунтовано, що зменшення собівартості й енергозатратності виробництва, а також ваги конструкцій та металоемності вузлів можна досягти за рахунок застосування суперміцних полімерних матеріалів і композицій шляхом заміни металевих деталей на полімерні, які не будуть поступатися їм за експлуатаційними властивостями.

Ключові слова: технологія, абразивне зношування, полімерні матеріали, гірничо-збагачувальне обладнання, експлуатація, робочі поверхні.

Дубровский С.С., Реброва С.В. Использование современных технологий при изготовлении и ремонте элементов конструкций горно-обогатительного оборудования

Цель. Обоснование целесообразности применения полимерных материалов для защиты рабочих поверхностей горно-обогатительного оборудования от абразивного износа.

Методы исследования. Обобщение и группирование – для анализа взглядов ученых на объект исследования и формулировки выводов контент-анализа первичных источников, анализ и синтез – для выяснения причин абразивного износа и обработки статистических данных, графический – для наглядного отражения полученных данных.

Научная новизна. Обоснованы возможности внедрения полимерных материалов в производственные и ремонтные технологии горно-обогатительного оборудования, в которых, в отличие от существующих, учтен кумулятивный характер абразивного износа, который характеризуется присоединением к нему коррозионных процессов, кавитационного износа, адгезионного износа и других.

Практическая значимость. Внедрение полимерных материалов в технологии ремонта и восстановления рабочих поверхностей горно-обогатительного оборудования позволит значительно уменьшить финансовые затраты, поскольку не нуждается в существенных капиталовложениях и затрат рабочего времени. Рациональное использование физи-

ко-химических свойств полимерных композиционных материалов предоставит возможность значительно снизить трудоемкость и себестоимость ремонтов и сократить расходы материалов на их проведение.

Результаты. Проведен анализ статистики отказов грунтовых насосов. Выявлено, что подавляющей их причиной является износ корпуса и рабочего колеса. По результатам проведенного анализа существующих подходов указано на отсутствие универсальных методов борьбы с изнашиванием, а также общепринятых критериев износостойкости. Учтены возможности изменения физико-химических показателей и, как следствие, эксплуатационных свойств полимеров, а также внедрения новых технологий их нанесения. Показано, что применение и совершенствование полимерных композитных материалов является перспективным направлением развития технологий ремонта горно-обогатительного оборудования. Обосновано, что уменьшение себестоимости и энергозатратности производства, а также веса конструкций и металлоемкости узлов можно достичь за счет применения суперпрочных полимерных материалов и композиций путем замены металлических деталей на полимерные, которые не будут уступать им по эксплуатационными свойствами.

Ключевые слова: технология, абразивное изнашивание, полимерные материалы, горно-обогатительное оборудование, эксплуатация, рабочие поверхности.

Dubrovskiy S.S., Rebrova S.V. Current technologies at manufacture and repair of elements of constructions of the mining-concentrating equipment

Purpose. Justification of application expediency of polymeric materials for safe working surfaces of the mining-concentrating equipment from an abrasive wear.

Research methods. Generalization and grouping - for the analysis of the scientists' views on a subject of inquiry and formulations of leading-outs of the content- analysis of primary sources, the analysis and synthesis - for transpiring of the reasons of an abrasive wear and machining of the statistical data, graphical - for obvious reflecting of the gained data.

Scientific novelty. The further introduction of polymeric materials in repair production engineering of the mining-concentrating equipment is justified. Unlike existing, the cumulative character of an abrasive wear characterized by corrosive processes, a cavitation damage, an adhesive wear is considered.

Practical value. The polymeric materials in reconditioning and restoring of working surfaces of the mountain-concentrating equipment allow to save costs as does not need essential holdings and working hours expenditures. The use of physico-chemical properties of polymeric composite materials make it possible to considerably bring down labor intensiveness, costs of reconditioning and expenses of materials on their conducting.

Results. The statistics of failures of slurry pumps is analyzed. The main reason for failures of slurry pumps is a wear of corps and the vane wheel rotor. It is specified in absence of multiple-purpose methods of struggle against chafing, and also conventional criteria of wear-resisting property. The change of physico-chemical parameters and, consequently, operation properties of polymers, as well as the new technologies of drawing are considered. It is displayed that application and perfecting of polymeric composite materials is a perspective evolution in reconditioning of the mining-concentrating equipment. It is justified that decrease of the cost price, energy expenditures of manufacture, metal consumption of nodes make it possible to decrease weight of constructions due to superstrong polymeric materials and compositions instead of metal parts.

Keywords: technology, abrasive wears process, polymeric materials, the mining-concentrating equipment, maintenance, working surfaces.

УДК 005.591.6:[66.047:544.023.5-03]

Замыцкий О.В., Бондар Н.В., Крадожон С.О. Інноваційні технології в процесі сушки тонкодисперсних матеріалів

Мета. Метою даної роботи є аналіз стратегії вибору оптимального апаратно-технологічного оформлення процесу сушіння тонкодисперсного матеріалу, що включає комплексний аналіз матеріалу як об'єкта сушіння; визначення оптимального режиму сушки з урахуванням технологічних вимог до якості висушеного продукту; рекомендований порядок вибору сушильних апаратів для тонкодисперсних матеріалів.

Методи дослідження. У роботі використані теоретичні та емпіричні методи дослідження. Проведено аналіз сучасного стану використання сушильних установок, розглянуто найбільш поширені способи сушки та виявлено найбільш ефективні методи інтенсифікації процесів сушки.

Наукова новизна. В доповіді проаналізовані основні особливості сушки тонкодисперсних матеріалів. Зроблено висновки про енергоефективність та економічність сушильних апаратів, це і зумовило актуальність даної теми дослідження.

Практична значимість. Аналіз сучасних методів сушки тонкодисперсних матеріалів дозволив виявити основні проблеми галузі та знайти найбільш ефективні методи інтенсифікації процесу сушки. Був визначений оптимальний режим сушки з урахуванням технологічних вимог до якості висушеного продукту.

Результати. При сушці тонкодисперсних матеріалів важливою проблемою є забезпечення екологічної та виробничої безпеки сушильних установок. Проаналізувавши різновиди сушки тонкодисперсних матеріалів стає очевидним, що кожен з них має свої переваги та недоліки в процесі експлуатації, але застосування методу сушіння тонкодисперсних матеріалів за допомогою електричного струму, є більш доцільним у порівнянні з іншими. Електричний струм пропускають напругу через шар вологого матеріалу. При цьому вологий матеріал приводять в контакт з електродами і включають безпосередньо в електричний ланцюг, через який пропускають електричний струм. Це забезпечує найкращі показники енергозбереження, екологічності та енергоспоживання.

Одне з головних питань - це забезпечення очищення від пилу та створення безуносних сушилок. Були розглянуті основні методи зневоднення тонкодисперсних матеріалів, вивчені теоретичні та механічні засади сушильних процесів.

Ключові слова: сушильні установки, енергоефективність, тонкодисперсні матеріали, інноваційні технології.

Замыцкий О.В., Бондар Н.В., Крадожон С.О. Инновационные технологии в процессе сушки тонкодисперсных материалов

Цель. Целью данной работы является анализ стратегии выбора оптимального апаратно-технологического оформления процесса сушки тонкодисперсного материала, включающего комплексный анализ материала как объекта суш-

ки; определение оптимального режима сушки с учетом технологических требований к качеству высушенного продукта; рекомендован порядок выбора сушильных аппаратов для тонкодисперсных материалов.

Методы исследования. В работе использованы теоретические и эмпирические методы исследования. Проведен анализ современного состояния использования сушильных установок, рассмотрены наиболее распространенные способы сушки и найдены наиболее эффективные методы интенсификации процессов сушки.

Научная новизна. В докладе проанализированы основные особенности сушки тонкодисперсных материалов. Сделан вывод об энергоэффективности и экономичности сушильных аппаратов, это и обусловило актуальность данной темы исследования.

Практическая значимость. Анализ современных методов сушки тонкодисперсных материалов позволил выявить основные проблемы отрасли и найти наиболее эффективные методы интенсификации процесса сушки. Был определен оптимальный режим сушки с учетом технологических требований к качеству высушенного продукта.

Результаты. При сушке тонкодисперсных материалов важной проблемой является обеспечение экологической и производственной безопасности сушильных установок. Проанализировав разновидности сушки тонкодисперсных материалов становится очевидным, что каждый из них имеет свои преимущества и недостатки в процессе эксплуатации, но применение метода сушки тонкодисперсных материалов с помощью электрического тока, является более целесообразным по сравнению с другими. Электрический ток пропускают напрямую через слой влажного материала. При этом влажный материал приводят в контакт с электродами и включают непосредственно в электрическую цепь, через который пропускают электрический ток. Это обеспечивает лучшие показатели энергосбережения, экологичности и энергопотребления.

Один из главных вопросов - это обеспечение очистки от пыли и создание безуносных сушилок. Были рассмотрены основные методы обезвоживания тонкодисперсных материалов, изучены теоретические и механические основы сушильных процессов.

Ключевые слова: сушильные установки, энергоэффективность, тонкодисперсные материалы, инновационные технологии.

Zamytskyi O.V., Bondar N.V., Kradozhon S.O. Innovative technologies in the process of drying thin-dispersed materials

Purpose. To analyze the strategy of choosing the optimal hardware and technological design of the process of drying fine material, including a comprehensive analysis of the material as an object of drying; determination of the optimal drying mode taking into account the technological requirements for the quality of the dried product; recommended procedure for the selection of dryers for fine materials.

Research methods. In the work used theoretical and empirical research methods. The analysis of the current state of the use of drying plants is carried out, the most common methods of drying are considered, and the most effective methods of intensification of drying processes are found.

Scientific novelty. The report analyzed the main features of the drying of fine materials. The conclusion was drawn about the energy efficiency and cost-effectiveness of drying apparatuses, this caused the relevance of this research topic.

Practical value. An analysis of modern methods of drying fine materials allowed us to identify the main problems of the industry and to find the most effective methods to intensify the drying process. The optimal mode of drying was determined taking into account the technological requirements for the quality of the dried product.

Results. When drying fine materials, an important problem is to ensure the environmental and production safety of drying plants. After analyzing the varieties of drying fine-grained materials, it becomes obvious that each of them has its advantages and disadvantages in the process of operation, but the use of the method of drying fine-grained materials using electric current is more appropriate compared to others. Electric current is passed directly through a layer of wet material. In this case, the wet material is brought into contact with the electrodes and connected directly into an electrical circuit, through which electric current is passed. It provides the best indicators of energy saving, environmental friendliness and energy consumption.

One of the main issues is to ensure the cleaning of dust and the creation of an airless dryer. The main methods of dehydration of fine materials were considered, the theoretical and mechanical bases of drying processes were studied.

Keywords: drying plants, energy efficiency, fine materials, innovative technologies.

УДК 37.091.355.2.199

Несмашний С.О., Ткаченко Г.І., Герасимова К.В. Використання чисельних методів моделювання фізичних процесів у закладах вищої освіти

Мета. В статті науково та методично обґрунтовано необхідність впровадження інноваційних педагогічних технологій у процес професійної підготовки студентів спеціальностей пов'язаних з інформаційними технологіями та студентів технічних спеціальностей. У фізиці історично моделювання є одним із важливіших методів дослідження. Тому висвітлюється проблема створення на заняттях з фізики такого освітнього середовища, в якому органічно поєднуються традиційні і комп'ютерні методи навчання. Розглядається доцільність використання чисельних методів моделювання при вивченні фізичних процесів з метою активізації пізнавальної діяльності та розвитку наукового мислення студентів.

Методи дослідження. Зроблений аналіз існуючих навчальних комп'ютерних програм, стандартних пакетів прикладних програм, сучасних мов програмування і проведений педагогічний експеримент висвітлив психологічні і технічні проблеми пов'язані з інформатизацією технічної освіти.

Наукова новизна. Запропоновано спосіб використання методу імітаційного моделювання для активізації пізнавальної самостійності студентів при рішенні практичних задач з фізики за професійним спрямуванням.

Практичне значення. Розроблено блок теоретичного матеріалу та банк дослідницьких завдань з фізики за професійним спрямуванням, згідно з робочою програмою, який дозволяє студентам використовувати прикладні пакети створених програм та мови програмування на практиці при моделюванні та рішенні конкретних фізичних задач.

Результати. Методологічно обґрунтована доцільність та ефективність використання метода імітаційного моделювання при вивченні курсу фізики в рамках учбового процесу студентами ІТ- профілю та технічних спеціальностей. Експериментально виявлені умови та проблеми впровадження нових інформаційних технологій при вивченні фізики для студентів першого курсу. Доведено, що в умовах швидкого розвитку інформаційних технологій необхідно активізувати використання студентами сучасних знань при вивченні фундаментальних дисциплін, що буде позитивно сприяти досягненню більш високого рівня компетентності та пізнавальної активності. Інтеграція ІТ-дисциплін і фізики стимулює розвиток творчого і наукового мислення студентів, підвищує інтерес до вивчення предмету. Отримані результати, може бути використані для подальшого розвитку сучасних педагогічних методів навчання в закладах вищої освіти, що дозволить забезпечити більш якісні результати при отриманні знань по фізиці

Ключові слова: освітнє середовище, фізика, інформаційні технології, комп'ютерні програми, чисельні методи, імітаційне моделювання, фізичні процеси.

Несмашный Е.А., Ткаченко Г.И., Герасимова К.В. Использование численных методов моделирования физических процессов в высших учебных заведениях

Цель. В современных условиях исследовательские навыки, способность анализировать и делать выводы приобретают особое значение для студентов высших учебных заведений. Все чаще возникает необходимость исследования процессов и разработки методик, которые относятся к «смежным» дисциплинам по отношению к физике. Использование числовых методов моделирования процессов и ситуаций позволяет эффективнее использовать время, отведенное для решения физических, технических и других задач.

В статье сформулирована актуальная научно-педагогическая задача о необходимости повышения качества обучения физике с помощью привлечения современных информационных и компьютерных технологий. Это особенно актуально для студентов технических специальностей и ИТ - профиля.

Методы исследования. Выполнен анализ существующих учебных компьютерных программ, стандартных пакетов обучающих прикладных программ, современных языков программирования. Проведен педагогический эксперимент, позволивший выявить психологические и технические проблемы, связанные с информатизацией технического образования.

Научная новизна. С целью повышения познавательной активности, научного мышления студентов, предложен способ использования имитационного моделирования для решения задач по физике и моделирования физических природных и техногенных процессов в области геомеханики, металлургии, экологии.

Практическое значение. Разработан банк теоретического материала и задач исследовательского направления по физике в соответствии с рабочей программой. На существующих пакетах прикладных программ выполнено моделирование геомеханических процессов, что соответствует задачам профессиональной направленности.

Результаты. Обоснована целесообразность и эффективность использования метода имитационного моделирования на аудиторных занятиях, а также дистанционно, для студентов технических специальностей и ИТ- профиля. Экспериментально установлены условия и проблемы внедрения компьютерных и информационных технологий для студентов первого и второго курсов высших учебных заведений. Выделены достоинства и недостатки имитационного моделирования, определены границы его применения при изучении физик в условиях сокращения аудиторного времени. Доказано, что применение методов численного моделирования способствует активизации познавательной самостоятельности и развитию научного мышления.

Ключевые слова: физические процессы, познавательная и творческая самостоятельность, числовые методы, имитационное моделирование, компьютерные программы

Nesmashnyi Ye. A., Tkachenko G.I, Gerasymova K. V. Use of numerical methods for modeling physical processes in higher education institutions

Purpose. In modern conditions of research skills, ability to analyze and draw conclusions are particularly important for students in higher education. Increasingly, there is a need to study the processes and methods of development, which are "related" disciplines in relation to physics. The use of numerical methods and processes of the Situations Modeling allows you to make better use of the time allotted for solving the physical, technical and other tasks. On the article is formulated we propose a new solution of actual scientific and pedagogical problem of the need to improve the quality of teaching physics by means of attraction of modern information and computer technologies. This is especially true for students of technical specialties and IT- profile. Simulation modeling is defined as experimentation with a model of a real system whose management involves making decisions under uncertainty.

Research methods. Analysis feature of existing educational software, educational standard package of application programs, modern programming languages. The methodology of working principles for introductions numerical methods and simulation modeling is designed and proven. Conducted pedagogical experiment allows to identifying the psychological and technical problems associated with the computerization of technical education.

Scientific novelty. In order to enhance the cognitive activity of the scientific thinking of students, a method of using simulation to solve problems in physics and physical modeling of natural and technological processes in geomechanics, metallurgy, ecology.

Practical value. Developed theoretical material bank and tasks of the research areas in physics, in accordance with the working program. On the existing application packages simulated geomechanical process within the scope of professional orientation.

Results. In this paper the essence of the concept of introduction of innovative educational technologies in the training of future specialists. The expediency and effectiveness of the use of simulation techniques in the classroom, as well as remotely, for engineering students first and IT- profile. The conditions and problems of introduction of computer and information technologies for students of first and second courses of higher education institutions are established. Advantages and disadvantages identified boundaries of its application in the study of physics in a reduction auditorium times. Application of numerical simulation methods enhances the cognitive development of independence and scientific thinking.

Keywords: integration of knowledge in physical, physical processes, cognitive independence, numerical methods, simulation modeling, computer technologies

УДК 667.1.785

Рудь Ю.С., Кучер В.Г., Белоношко В.Ю. Анализ конструкции и повышение технического уровня колосниковых решеток агломерационных и обжиговых машин

Целью данной работы является анализ конструктивных особенностей известных колосниковых решеток агломерационных и обжиговых машин и на основе выводов обеспечить повышение технического уровня колосниковых решеток, что приведет к росту производительности машин.

Методы исследований. Анализ конструктивных особенностей колосниковых решеток агломерационных и обжиговых машин проводился путем изучения известных конструкций по литературным источникам, патентов, а также наблюдений за работой тележек в промышленных условиях с последующим обобщением результатов анализа и разработкой мероприятий по улучшению конструкции тележек агломерационных и обжиговых машин.

Научная новизна. Для повышения производительности агломерационных машин предложен и теоретически обоснован новый подход к формированию «постели», представляющий собой выделение фракции 25-12 мм из окомкованной шихты, а также увеличение «живого» сечения колосниковой решетки за счет использования площади подколосниковых балок.

Практическое значение. Предложены конструкции колосников, эффективность самоочистки которых базируется на новом подходе к решению данной проблемы и состоящей в организации принудительного взаимного перемещения рядом расположенных колосников. устанавливаются головками с большей высотой в противоположных направлениях.

Результаты. Предложен способ формирования «постели» агломерационных машин из окомкованной шихты, а также ряд конструкций колосников, обеспечивающих увеличение «живого» сечения решетки и стабильность ее работы за счет высокой степени ее самоочистки, что позволяет повысить эффективность работы агломерационных и обжиговых машин. Агломерационная и обжиговая машина представляет собой непрерывную цепь тележек с колосниковой решеткой. Тележки установлены на направляющие и перемещаются по ним с помощью электромеханического привода, расположенного в головной части машины. На рабочей ветви машины происходят основные технологические процессы производства агломерата и окатышей: загрузка шихты, ее зажигание, спекание, частичное охлаждение и разгрузка агломерата, а для окатышей – загрузка, обжиг по более сложной схеме, охлаждение и разгрузка. На горизонтальные полки продольных балок тележек устанавливаются колосники, которые образуют колосниковое поле тележек - решетку.

Ключевые слова: агломерационная, обжиговая машина, тележка, колосник, решетка, «живое» сечение, самоочистка решетки, производительность.

Рудь Ю.С., Кучер В.Г., Белоношко В.Ю. Аналіз конструкції та підвищення технічного рівня колосникових грат агломераційних і випалювальних машин

Метою даної роботи є аналіз конструктивних особливостей відомих колосникових грат агломераційних і випалювальних машин і на основі висновків забезпечити підвищення технічного рівня колосникових грат, що призведе до зростання продуктивності машин.

Методи досліджень. Аналіз конструктивних особливостей колосникових грат агломераційних і випалювальних машин проводився шляхом вивчення відомих конструкцій з літературних джерел, патентів, а також спостережень за роботою візків в промислових умовах з подальшим узагальненням результатів аналізу і розробкою заходів щодо поліпшення конструкції візків агломераційних і випалювальних машин.

Наукова новизна. Для підвищення продуктивності агломераційних машин запропонований і теоретично обґрунтовано новий підхід до формування «прошарку», що представляє собою виділення фракції 25-12 мм з окомкованної шихти, а також збільшення «живого» перетину колосникових грат за рахунок використання площі подколосникових балок.

Практичне значення. Запропоновано конструкції колосників, ефективність самоочищення яких базується на новому підході до вирішення даної проблеми і складається в організації примусового взаємного переміщення поруч розташованих колосників. встановлюються головками з більшою висотою в протилежних напрямках.

Результати. Запропоновано спосіб формування «прошарку» агломераційних машин з окомкованної шихти, а також ряд конструкцій колосників, що забезпечують збільшення «живого» перетину грат і стабільність її роботи за рахунок високого ступеня її самоочищення, що дозволяє підвищити ефективність роботи агломераційних і випалювальних машин. Агломераційна і обпалювальна машина являє собою безперервний ланцюг візків з колосниковими гратами. Візки встановлені на напрямні і переміщаються по ним за допомогою електромеханічного привода, розташованого в головній частині машини. На робочій гілці машини відбуваються основні технологічні процеси виробництва агломерату та обкотишів: завантаження шихти, її запалювання, спікання, часткове охолодження і розвантаження агломерату, а для окатишів - завантаження, випал за більш складною схемою, охолодження і розвантаження. На горизонтальні полки поздовжніх балок візків встановлюються колосники, які утворюють колосниковий поле візків - грати.

Ключові слова: агломераційна, обпалювальна машина, візок, колосник, грати, «живий» перетин, самоочищення грат, продуктивність.

Rud Yu. S., Kucher V.G., Belonozhko V. Yu. Construction analysis and technical level improvement spraying gratings of agglomeration and firing machines

Purpose. To analyze the design of the famous grate sintering and firing machines and to increase the technical level of the grate, which leads to an increase in the productivity of the machines.

Research methods. Analysis of the design features of grate sintering and firing machines was carried out by studying the known constructions from literature, patents, as well as observing the work of carts in industrial conditions, followed by a

generalization of the results of the analysis and the development of measures to improve the design of carts of sintering and roasting machines.

Scientific novelty. To improve the performance of sinter machines, a new approach to the formation of a “layer” has been proposed and theoretically justified. The approach is the selection of a fraction of 25–12 mm from the pelleted charge, as well as an increase in the “living” cross-section of the grate through the use of the area of the grate beams.

Practical value. The designs of grates are proposed, the effectiveness of self-cleaning of which is based on a new approach to solving this problem and consisting in organizing the forced reciprocal movement of nearby grates, set by heads with greater height in opposite directions.

Results. A method of forming a “layer” of sintering machines from a pelletized charge, as well as a number of grate structures, providing an increase in the “living” cross-section of the lattice and stability of its work due to a high degree of self-cleaning, which improves the efficiency of sintering and roasting machines.

Keywords: sintering, roasting machine, carriage, grate, “live” section, self-cleaning grate, productivity.

УДК 65.0.12.122

Пристинський М.Г., Гірін І.В., Пахомов В.І. Впровадження інформаційних технологій в процес управління міськими перевезеннями в Україні

Мета. Дослідження сталого стану автомобільного транспорту загального користування та рішення ряду наукових і практичних питань управління перевізною діяльністю автобусних парків з використанням сучасних інформаційних технологій в Україні. Поставлена мета в роботі вирішується такими завданнями: аналізом сучасного стану автотранспортного комплексу з виявленням негативних сторін його діяльності та проблемних питань в підвищенні ефективності та якості перевезень пасажирів автобусами; дослідженням ринку інформаційних технологій, умов їх застосування на пасажирському транспорті; розробкою методики оцінки економічної ефективності роботи автобусних парків з використанням сучасних інформаційних технологій; узагальненням наявного досвіду і розробкою практичних рекомендацій щодо застосування супутникового моніторингу на міському автомобільному транспорті.

Методи дослідження. У роботі виконано аналітичні дослідження з використанням статистичних показників стосовно подальших перспектив підвищення показників роботи автобусних парків. Використано комплексний підхід, що включає узагальнення і аналіз літературних джерел і досліджень в галузі автомобільного пасажирського транспорту.

Наукова новизна дослідження полягає в аналітичному оцінюванні темпів зростання обсягів міських автоперевезень та узагальненні сучасного досвіду і розробці науково-методичних рекомендацій щодо оцінки ефективності роботи автобусних парків з використанням сучасних інформаційних технологій

Практична значимість дослідження визначається прикладним характером наукових положень і висновків, що дозволяють на об'єктивній кількісній основі оцінювати економічні результати впровадження в господарську практику автобусних парків сучасних інформаційних технологій, і на цій основі підвищити ефективність роботи підприємств пасажирського транспорту і якість транспортного обслуговування пасажирів.

Результати. Впровадження інформаційних технологічних систем у міські пасажирські перевезення дозволить вирішувати цілу низку питань, які на сьогодні є вузьким місцем в організації роботи автотранспорту, таких як:

контроль за виконанням договірних умов перевізниками щодо числа автобусів, що випускаються щоденно на маршрути; підвищення безпеки та якості перевезень; прозорість економічної ефективності окремих автобусів, маршрутів і відповідно оподаткування перевізників; облік пасажиропотоків, у тому числі пільгових категорій пасажирів, та ряд інших питань.

Ключові слова: пасажирські перевезення, управління перевізним процесом, диспетчеризація автотранспорту.

Пристинский Н.Г., Гирин И.В., Пахомов В.И. Внедрение информационных технологий в процесс управления городском транспортом в Украине

Цель. Целью работы является комплексное исследование современного состояния автомобильного транспорта общего пользования и решения ряда научных и практических вопросов управления перевозочной деятельностью автобусных парков с использованием современных информационных технологий в Украине.

Поставленная цель в работе решается такими задачами:

анализом современного состояния автотранспортного комплекса с выявлением негативных сторон его деятельности и проблемных вопросов в повышении эффективности и качества перевозок пассажиров автобусами;

исследованием рынка информационных технологий, условий их применения на пассажирском транспорте;

разработкой методики оценки экономической эффективности работы автобусных парков с использованием современных информационных технологий;

обобщением имеющегося опыта и разработкой практических рекомендаций по применению спутникового мониторинга на городском автомобильном транспорте.

Методы исследования. В работе выполнены аналитические исследования с использованием статистических показателей относительно дальнейших перспектив повышения показателей работы автобусных парков. Использован комплексный подход, включающий обобщение и анализ литературных источников и исследований в области автомобильного пассажирского транспорта.

Научная новизна исследования заключается в аналитической оценке темпов роста объемов городских автоперевозок и обобщении современного опыта и разработке научно-методических рекомендаций по оценке эффективности работы автобусных парков с использованием современных информационных технологий

Практическая значимость исследований определяется прикладным характером научных положений и выводов, позволяющих на объективной количественной основе оценивать экономические результаты внедрения в хозяйственную практику автобусных парков современных информационных технологий и на этой основе повысить эффективность работы предприятий пассажирского транспорта и качество транспортного обслуживания пассажиров.

Результаты. Внедрение информационных технологических систем в городские пассажирские перевозки позволит решать целый ряд вопросов, которые на сегодня являются узким местом в организации работы автотранспорта, таких как: контроль за выполнением договорных условий перевозчиками по числу автобусов, выпускаемых ежедневно на маршруты; повышение безопасности и качества перевозок; прозрачность экономической эффективности отдельных автобусов, маршрутов и соответственно налогообложения перевозчиков; учет пассажиропотоков, в том числе льготных категорий пассажиров, и ряд других вопросов.

Ключевые слова: пассажирские перевозки, управление перевозочным процессом, диспетчеризация автотранспорта.

Prystynskiy M.H., Hirin I.V., Pachomov V.I. Information technologies in the city transport management in Ukraine

Purpose. To study the current state of public transport and the solution of a number of scientific and practical issues of managing bus fleets using modern information technologies in Ukraine. The work considers the following tasks: analysis of the current motor transport complex with the identification of negative aspects in improving the efficiency and quality of passenger transportation by buses; research of information technology market, and conditions of IT use in passenger transport; development of a methodology for assessing the economic efficiency of bus fleets using modern information technologies; generalization of the available experience and development of practical recommendations on the use of satellite monitoring in city transport.

Research methods. Analytical studies using statistical indicators on increasing the performance of bus parks were carried out. Generalization and analysis of literary sources and research in the field of passenger transport are integrated.

Scientific novelty. Analytical estimation of growth rates of city transport, generalization of modern experience, and development of scientific and methodical recommendations for estimation of operation efficiency of bus parks with use of modern information technologies.

Practical value. Scientific positions and conclusions allow to objectively quantify the economic results of the introduction of modern information technologies in the operation of bus fleets. Thus, it increases the efficiency of the operation of passenger transport enterprises and the quality of transport services for passengers.

Results. Information technology systems in city passenger transport allow to solve a number of issues like: control over fulfillment of contractual conditions by carriers according to the daily number of buses on routes; increase of safety and quality of transportation; transparency of the economic efficiency of individual buses, routes and, taxation of carriers; account of passenger traffic, including privileged passenger categories.

Keywords: passenger transportation, traffic control, dispatching of vehicles.

УДК 004.896

Кузнєцов Д.І. Інформаційна система прогнозування кількості виробленої енергії сонячною електростанцією

Мета. Метою роботи є розробка інформаційної системи для прогнозування кількості виробленої енергії та ефективності роботи сонячних електростанцій. У зв'язку із збільшенням кількості встановлених сонячних електростанцій щороку, стає потреба більш детально досліджувати питання прогнозування виробленої електроенергії сонячними станціями. Зокрема із-за низького ККД роботи сонячних фотоелементів, нестабільності отриманні електричної енергії пов'язаної із метеорологічними умовами, запропоновані підходи у статті дозволять отримувати більш чітку картину ефективності роботи сонячної електростанції. На даний момент існуючі методи, підходи та інформаційні системи враховують тільки індивідуальні конструктивні особливості сонячних панелей та вимагають наявності спеціалізованих коштовних датчиків для аналізу сонячної інсоляції. У свою чергу це не дає можливості отримувати більш точнішого прогнозу ефективності роботи сонячних панелей, наприклад, із врахуванням попередніх років роботи, і прогнозування на більш великі терміни часу.

Методи дослідження. У даній статті автором запропоновано метод прогнозування кількості виробленої енергії сонячною електростанцією на основі аналізу температури оточуючого повітря, сонячної інсоляції та значень роботи сонячної станції попередніх років із використання математичного апарату нейронно-нечітких мереж.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Запропоновані методи є актуальними адже дозволяють виконувати прогнозування вироблення кількості сонячної енергії на основі штучних нейронних мереж типу ANFIS.

Практична значимість. Завдяки виконанню автоматизації на основі запропонованого підходу кожна частина інформаційної системи працює злагоджено з іншими, у оптимальному режимі, що дозволяє економити час та гроші. Крім виконання функції прогнозування кількості виробленої енергії сонячною станцією, перспективним шляхом досліджень є дослідження процесів прогнозування виробленої енергії гібридними альтернативними джерелами енергії. Наприклад, прогнозування генерації сонячними та вітроелектричними станціями, як окремо так і у комплексі.

Результати. Використання запропонованого підходу також, додатково, дозволить отримувати інформаційну систему інтегрувати як частину системи Energy Management, загальної державної мережі Smart Grid. Це дозволяє зменшити витрати коштів на використання спеціалізованого обладнання, а також підвищити якість управління інформаційною системою Smart Grid.

Ключові слова: інформаційна система, сонячна панель, сонячна інсоляція, прогнозування, сонячна електростанція, Smart Grid.

Кузнєцов Д.И. Информационная система прогнозирования количества произведенной энергии солнечной электростанцией

Цель. Целью работы является разработка информационной системы для прогнозирования количества произведенной энергии и эффективности работы солнечных электростанций. В связи с увеличением количества устанавливаемых солнечных электростанций ежегодно становится потребностью более детально исследовать вопросы прогнозирования произведенной электроэнергии солнечными станциями. В частности, из-за низкого КПД работы солнечных фотоэлементов, нестабильности получения электрической энергии, связанной с метеорологическими условиями, предложенные подходы в статье позволят получать более четкую картину эффективности работы солнечной электростанции. На данный момент существующие методы, подходы и информационные системы которые учитывают только

индивидуальные конструктивные особенности солнечных панелей и требуют наличия специализированных ценных датчиков для анализа солнечной инсоляции. В свою очередь не дает возможности получать более точного прогноза эффективности работы солнечных панелей, например, с учетом предыдущих лет работы, и прогнозирование на более большие сроки времени.

Методы исследования. В данной статье автором предложен метод прогнозирования количества произведенной энергии солнечной электростанцией на основе анализа температуры окружающего воздуха, солнечной инсоляции и значений работы солнечной станции предыдущих лет по использованию математического аппарата нейро-нечетких сетей.

Научная новизна. Решение данной задачи составляет актуальность работы. Предложенные методы актуальны ведь позволяют выполнять прогнозирования выработки количества солнечной энергии на основе искусственных нейронных сетей типа ANFIS.

Практическая значимость. Благодаря выполнению автоматизации на основе предложенного подхода каждая часть информационной системы работает слаженно с другими, в оптимальном режиме, что позволяет экономить время и деньги. Кроме выполнения функции прогнозирования количества произведенной энергии солнечной станцией, перспективным путем исследований является исследование процессов прогнозирования произведенной энергии гибридными альтернативными источниками энергии. Например, прогнозирование генерации солнечными и ветростанция, как отдельно, так и в комплексе.

Результаты. Использование предложенного подхода также, дополнительно, позволит получаемую информационную систему интегрировать как часть систем Energy Management, общей государственной сети Smart Grid. Это позволяет уменьшить затраты средств на использование специализированного оборудования, а также повысить качество управления информационной системой Smart Grid.

Ключевые слова: информационная система, солнечная панель, солнечная инсоляция, прогнозирования, солнечная электростанция, Smart Grid.

Kuznetsov D.I. Information system for projecting the size of power by solar electricity

Purpose. To develop an information system for forecasting the amount of energy produced and the efficiency of solar power plants. In connection with the increase in the number of installed solar power plants annually, it becomes necessary to study in more detail the issue of forecasting electricity produced by solar plants. In particular, due to the low efficiency of solar photovoltaic operation, the instability of obtaining electric energy associated with metrological conditions, the proposed approaches in this article will allow a clearer picture of the efficiency of a solar power plant. Currently, existing methods, approaches and information systems take into account only the individual design features of solar panels and require the availability of specialized valuable sensors for the analysis of solar insolation. In turn, this does not allow us to obtain a more accurate forecast of the effectiveness of solar panels, for example, taking into account previous years of work, and prediction for longer periods of time.

Research methods. In this article the author proposes a method for forecasting the amount of energy generated by a solar power plant based on the analysis of the temperature of ambient air, solar insolation and the values of the work of the solar station of previous years with the use of the mathematical apparatus of neuron-fuzzy networks.

Scientific novelty. The solution to this problem is the relevance of the work. The proposed methods are topical because they enable us to predict the generation of solar energy based on artificial neural networks such as ANFIS.

Practical significance. Thanks to automation at the dawn of the proposed approach, each part of the information system works in concert with others, in optimal mode, which saves time and money. In addition to performing the function of predicting the amount of energy generated by the solar station, a promising way of research is to study the processes of predicting the energy produced by hybrid alternative energy sources. For example, prediction of the generation of solar and wind power stations, both individually and in a complex.

Results. The use of the proposed approach will also allow the information system to be integrated as part of the Energy Management System, the overall national grid network. This reduces the cost of using specialized equipment, as well as improves the management of the Smart Grid information system.

Keywords: information system, solar panel, solar insolation, forecasting, solar power station, Smart Grid.

УДК 666.97:620.169

Коверніченко Л.М., Хільченко О.П. Штучні будівельні матеріали

Мета. Дослідження типів в'язучих речовин, що визначають особливості мікроструктури, пов'язані з переважанням певних кристалічних форм новоутворень.

Методи. При зміцненні портландцементу тісто новоутворення виникають в різних кристалічних формах, що багато в чому залежить від температури середовища і концентрації гідрату оксиду кальцію в рідкій фазі. Найбільш характерним є утворення перенасичених розчинів і геліодних мас. На основі одного і того ж в'язучого, наприклад, портландцементу, вироби можуть бути виготовлені з різними наповнювачами - щільним щебенем і піском у важкому цементному бетоні, пористому гравію і піску в легкому цементному бетоні, азбесту в азбестоцементних виробках, дробленого дерева і арболіт, деревна вовна у фіброліті, гранульований полістирол у пористому бетоні, кварцовий пісок у будівельних розчинах та ін.

Наукова новизна. Характер пористості є найважливішою специфічною особливістю. Виключити з обсягу пори і капіляри практично не представляється можливим. У виробках пори, а також інші види нещільності зосереджені в в'язучій частині, що заповнює частини і в контактній зоні, тобто по поверхнях розділу цих двох структурних компонентів.

Практична значимість. При використанні неорганічних в'язучих речовин, що заповнені водою або водними розчинами деяких солей, мікро і макропор в'язучої частини пов'язані з процесами на стадіях твердіння і зміцнення. В цей досить невизначений за часом період з'являються, по-перше, пори гелю, що виникли як проміжки між його частин-

ками за рахунок синерезиса і випаровування води, яка адсорбційно зв'язана з його мицеллами, а за характером вони в основному замкнуті.

Результати. Застосування полімерних матеріалів як сполучний компонент в суміші з мікронаповнювачами також призводить до деякої пористості в'язучої частини. Пори виникають в результаті випаровування продуктів поліконденсації, якщо використовуються термоактивні олігомери і полімери в ході контракції. За розміром вони відносяться до мікропор і так само, як і при інших в'язучих, кількість їх і розмір змінюються в наступний період формування структури. У випалювальних в'язуча частина має пори капілярні і замкнуті за рахунок часткового виходу газоподібних продуктів розкладання і термальних реакцій.

Ключові слова: будівельні матеріали, структура, пори, пустоти.

Коверниченко Л.Н., Хильченко О.П. Искусственные строительные материалы

Цель. Исследование типов вяжущих веществ, определяющих особенности микроструктуры, связанные с преобладанием определенных кристаллических форм новообразования.

Методы. При укреплении портландцемента тестом новообразования возникают в различных кристаллических формах, во многом зависит от температуры среды и концентрации гидрата оксида кальция в жидкой фазе. Наиболее характерно образование перенасыщенных растворов и геловидных масс. На основе одного и того же вяжущего, например, порт-ландцемента, изделия могут быть изготовлены с различными наполнителями - плотным щебнем и песком в тяжелом цементном бетоне, пористом гравии и песка в легком цементном бетоне, асбеста в асбестоцементных изделиях, дробленого дерева и арболит, древесная шерсть в фибролита, гранулированный полистирол в пористой бетоне, кварцевый песок в строительных растворах и др.

Научная новизна. Характер пористости является важнейшей специфической особенностью. Исключить из объема поры и капилляры практически не представляется возможным. В изделиях поры, а также другие виды неплотности сосредоточены у вяжущей части, которая заполняет части и в контактной зоне, то есть по поверхностям раздела этих двух структурных компонентов.

Практическая значимость. При использовании неорганических вяжущих веществ, которые заполнены водой или водными растворами некоторых солей, микро и макропор вяжущей части связаны с процессами на стадиях затвердевания и укрепления. В этот достаточно неопределенный по времени период появляются, во-первых, поры геля, которые возникли как промежуточные между его частицами за счет синерезиса и испарения воды, которая адсорбційно зв'язана з його мицеллами, а по характеру вони в основному замкнуті.

Результаты. Применение полимерных материалов как соединительный компонент в смеси с микронаполнителями также приводит к некоторой пористости вяжущей части. Пору возникают в результате испарения продуктов поликонденсации, если используются термоактивные олигомеры и полимеры в ходе контракции. По размеру они относятся к микропорам и так же, как и при других вяжущих, количество их и размер изменяются в следующий период формирования структуры. В обжигательных вяжущая часть имеет поры капиллярные и замкнутые за счет частичного выхода газообразных продуктов разложения и термальных реакций.

Ключевые слова: строительные материалы, структура, пори, пустоты.

Kovernichenko L.N., Khilchenko O.P. Artificial building materials

Purpose. To study of the types of binding materials, which determine the features of microstructure, associated with the predominance of certain crystalline forms of newgrowth.

Research methods. When strengthening portland cement, newgrowth appear in various crystalline forms. It largely depends on the temperature of the medium and the concentration of slaked lime in the liquid phase. The most characteristic is the formation of supersaturated solutions and halooid masses. Based on the same binding material, for example, portland cement, products can be made with different aggregates - dense crushed stone and sand in heavy cement concrete, porous gravel and sand in light cement concrete, asbestos in asbestos cement products, crushed wood and arbolite, wood fiber in fibrolite, granular polystyrol in porous concrete, quartz sand in building mortars, and others.

Scientific novelty. The nature of porosity is the most important specific feature. It is practically not possible to exclude pores and capillaries from the content. Porosity of building materials varies in very wide range: from 0 (glass) to 95% and higher (preformed mineral wool, etc.). In the products, the pores, as well as other types of openings (micro- and macrocracks, void pockets and cavities, caverns and pinholes) are concentrated in the binding part, which fills the parts in the contact zone as well, that is, on the surfaces of the section of these two structural components.

Practical value. When using non-organic binding materials, filled with water or water solutions of some salts, the micro and macropores of the binding part are connected with processes at the stages of solidification and strengthening. In this rather uncertain period of time, firstly, there appear the pores of the gel that arose as the voids between its particles due to the syneresis and evaporation of water, which is connected with its micelles in absorptive way, and by nature they are mostly closed.

Results. The use of polymeric materials as a coupling component in a mixture with microfillers also results in some porosity of the binding part. Pores appear as a result of evaporation of products of polycondensation, if thermoactive oligomers and polymers are used during contraction. By size, they belong to the micropores and their number and size change in the next period of formation of the structure as it happens with other binding materials. In the burning, binding part has capillary and closed pores due to the partial release of gaseous decomposition products and thermal reactions.

Keywords: building materials, structure, pore, pinholes.

УДК 004.056:007 (045)

Даниліна Г.В., Жукова Л.Л., Андруевич Н.В., Цвіркун С.Л. Стохастичне керування параметрами уразливостей з використанням ескалаторних пасток

Мета. Розробити математичну модель і методику захисту комп'ютерної мережі від зовнішніх і внутрішніх загроз в умовах апріорної невизначеності стану мережі і ризику виникнення конфлікту з активним (розумним) партнером. Провести систематизацію на основі математичного апарату статистичної теорії ризику, теорії конфлікту, теорії ма-

сового обслуговування, дослідження операцій. Статистично оцінити потенційну ефективність і асимптотичні характеристики систем захисту.

Методи. Спостереження, експеримент.

Наукова новизна. Доведено, що при використанні методів конфліктного управління процесами захисту комп'ютерних мереж можна добиватися виграшу, навіть якщо противник має помітну перевагу в ресурсах. Проведено систематизацію на основі математичного апарату статистичної теорії ризику, теорії конфлікту, теорії масового обслуговування, дослідження операцій.

Практична значимість. Розроблено математичну модель і методику захисту комп'ютерної мережі від зовнішніх і внутрішніх загроз в умовах апріорної невизначеності стану мережі і ризику виникнення конфлікту з активним (розумним) партнером. Рішення даної задачі досягнуто шляхом рефлексивного управління – урахування сильних і слабких сторін противника, цілеспрямованого виснаження його ресурсів в атаках на хибні об'єкти і псевдосервіси. На основі теорії керованих марковських процесів запропонований метод конфліктного управління з прогнозуванням розвитку ситуації, покрокової ідентифікації параметрів і стану і корекції за наслідками поточного аналізу.

Результати. Розроблена в рамках загальної теорії конфлікту стратегія відволікання ресурсів противника на псевдосервіси може дати виграш навіть в разі переваги ресурсів атаки над ресурсами захисту. Розроблено математичну модель і методику захисту комп'ютерної мережі від зовнішніх і внутрішніх загроз в умовах апріорної невизначеності стану мережі і ризику виникнення конфлікту з активним (розумним) партнером. Проведено систематизацію на основі математичного апарату статистичної теорії ризику, теорії конфлікту, теорії масового обслуговування, дослідження операцій. Статистично оцінено потенційну ефективність і асимптотичні характеристики систем захисту.

Ключові слова: математична модель, ескалаційна пастка, метод конфліктного управління, комп'ютерна мережа, псевдосервіс.

Данилина Г. В., Жукова Л.Л., Андрусевич Н.В., Цвиркун С. Л. Стохастическое управление параметрами уязвимости с использованием эскалационных ловушек

Цель. Разработать математическую модель и методику защиты компьютерной сети от внешних и внутренних угроз в условиях априорной неопределенности состояния сети и риска возникновения конфликта с активным (умным) партнером. Провести систематизацию на основе математического аппарата статистической теории риска, теории конфликта, теории массового обслуживания, исследования операций. Статистически оценить потенциальную эффективность и асимптотические характеристики систем защиты.

Методы. Наблюдение, эксперимент.

Научная новизна. Доказано, что при использовании методов конфликтного управления процессами защиты компьютерных сетей можно добиваться выигрыша, даже если противник имеет заметное преимущество в ресурсах. Проведена систематизация на основе математического аппарата статистической теории риска, теории конфликта, теории массового обслуживания, исследования операций.

Практическая значимость. Разработана математическая модель и методика защиты компьютерной сети от внешних и внутренних угроз в условиях априорной неопределенности состояния сети и риска возникновения конфликта с активным (умным) партнером. Решение данной задачи достигнуто путем рефлексивного управления - учет сильных и слабых сторон противника, целенаправленного истощения его ресурсов в атаках на ложные объекты и псевдосервисы. На основе теории управляемых марковских процессов предложен метод конфликтного управления с прогнозированием развития ситуации, пошаговой идентификации параметров и состояния и коррекции по результатам текущего анализа.

Результаты. Разработанная в рамках общей теории конфликта стратегия отвлечения ресурсов противника на псевдосервисы может дать выигрыш даже в случае преимущества ресурсов атаки над ресурсами защиты. Разработана математическая модель и методика защиты компьютерной сети от внешних и внутренних угроз в условиях априорной неопределенности состояния сети и риска возникновения конфликта с активным (умным) партнером. Проведена систематизация на основе математического аппарата статистической теории риска, теории конфликта, теории массового обслуживания, исследования операций. Статистически оценена потенциальная эффективность и асимптотические характеристики систем защиты.

Ключевые слова: математическая модель, эскалационная ловушка, метод конфликтного управления, компьютерная сеть, псевдосервис.

Danylina G.V., Zhukova L.L., Andrushevych N.V., Tsvirkun S. L. Stochastic management of parameters of vulnerabilities with use of escalation decoys

Purpose. To develop a mathematical model and method of protecting a computer network from external and internal threats in the context of a priori uncertainty of the network state and the risk of a conflict with an active (smart) partner. To systematize the theory of conflict, the theory of mass service, research operations on the basis of the mathematical apparatus of the statistical theory of risk. Statistically assess the potential effectiveness and asymptotic characteristics of protection systems.

Research methods. Observation, experiment.

Scientific novelty. When using the methods of conflict management of computer network protection processes, it is possible to achieve a gain, even if the enemy has a noticeable advantage in resources. The theory of conflict, the theory of mass service, and the research of operations on the basis of the mathematical apparatus of the statistical theory of risk were systematized.

Practical value. A mathematical model and method of protecting a computer network from external and internal threats in the context of a priori uncertainty of the network state and the risk of a conflict with an active (smart) partner has been developed. The solution to this problem has been achieved by means of reflexive control — taking into account the strengths and weaknesses of the enemy, the targeted depletion of his resources in attacks against false objects and pseudo-services. Based on the theory of controlled Markov processes, a method of conflict management with forecasting the development of the situation, step-by-step identification of parameters and state and correction on the results of the current analysis is proposed.

Results. The strategy of diverting enemy resources to pseudo-services developed within the framework of a general conflict theory can be beneficial even in the case of the advantage of attack resources over protection resources. A mathematical model and method of protecting a computer network from external and internal threats in the context of a priori uncertainty of the network state and the risk of a conflict with an active (smart) partner has been developed. The systematization of the statistical theory of risk, the theory of conflict, the theory of mass service, and the research of operations. The potential efficiency and asymptotic characteristics of protection systems are statistically evaluated.

Keywords: mathematical model, escalation trap, method of conflict management, computer network, pseudo-service.

УДК 658.38:621.1

Наливайко В.Г., Мовчан О.Г., Лосьев К.В. Влияние профилактических ремонтных работ на уменьшение заболеваемости работников предприятий теплоснабжения

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

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

Научная новизна. Исследования с использованием математико-статистического метода экспертных оценок позволяют быстро определить первоочередность видов профилактических ремонтных работ на предприятиях теплоснабжения и предупредить аварийные ситуации.

Практическая значимость. Разработанные рекомендации на основе математико-статистического метода экспертных оценок позволят улучшить производство организационных работ по ликвидации аварийных участков теплотрасс и снизить количество аварийных работ, уменьшив при этом заболеваемость работников предприятий теплоснабжения, повысить безопасность труда особенно в осенне-зимний период года, а также сократить экономические потери от ликвидации аварийных ситуаций и лечения заболевших работников теплогенерирующих предприятий.

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

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

Наливайко В.Г., Мовчан О.Г., Лосьев К.В. Вплив профілактичних ремонтних робіт на зменшення захворюваності працівників підприємств теплопостачання

Мета. Розробка способів зменшення захворюваності працівників підприємств теплопостачання та водопостачання і підвищення безпеки праці при експлуатації і ремонтах теплотрас і теплогенеруючого обладнання. Також необхідно визначити найбільш травмонебезпечні види робіт і спеціальності працівників підприємств теплопостачання, що їх виконують, запропонувавши способи зменшення аварійного виробничого навантаження на них. Зменшення аварійних робіт може бути досягнуто шляхом проведення профілактичних робіт на теплотрасах і теплогенеруючому обладнанні, скорочуючи при цьому кількість небезпечних і шкідливих видів робіт, а так само трудові та матеріальні витрати, пов'язані з їх виконанням.

Методи дослідження. Дослідження проводилися з використанням математико-статистичного методу експертних оцінок. Даний метод дозволяє оперативно виявити найбільш проблемні та витратні роботи підприємств теплопостачання, котрі виникають як в процесі експлуатації обладнання і теплотрасс, так і з раптовими аварійними ситуаціями. Таким чином, можна визначити перелік профілактичних робіт, які повинні бути виконані в першу чергу.

Наукова новизна. Дослідження з використанням математико-статистичного методу експертних оцінок дозволять швидко визначити пріоритетність видів профілактичних ремонтних робіт на підприємствах теплопостачання і попередити аварійні ситуації.

Практична значимість. Розроблені рекомендації на основі математико-статистичного методу експертних оцінок дозволять поліпшити виробництво організаційних робіт по ліквідації аварійних ділянок теплотрас і знизити кількість аварійних робіт, що, в свою чергу, зменшить захворюваність працівників підприємств теплопостачання та підвищить безпеку праці особливо в осінньо-зимовий період року, а також скоротить економічні втрати від ліквідації аварійних ситуацій і лікування хворих працівників теплогенеруючих підприємств.

Результати. На підставі профілактичних графіків ремонтних робіт можна скласти пріоритетність заміни труб аварійних ділянок, що набагато полегшить планування ремонтних робіт по заміні аварійних ділянок трубопроводів. Найбільш травмонебезпечними роботами є газозварювальні і електрозварювальні роботи відповідної спеціальності, які їх виконують, є газозварник та електрозварник. Умови їх роботи експерти визначають як небезпечні і шкідливі.

Ключові слова: експертна оцінка, математико-статистичний метод експертних оцінок, бали оцінки.

Nalyvaiko V.G., Movchan O.G., Losiev K.V. The effect of preventive repair works on the reduction of the morbidity of workers of heat supply enterprises

Purpose. To develop the ways to reduce the incidence of workers of enterprises of heat -and water supply, and increase labor safety in the operation and repair of heating mains and heat generating equipment. To identify the most traumatic types of

jobs and occupations of workers in heat supply enterprises, reducing the emergency workload on them. The reduction of emergency works can be achieved by carrying out preventive works on heating mains and heat generating equipment, while reducing the number of dangerous jobs and also the labor and material costs associated with their implementation.

Research methods. The research was carried out using the mathematical-statistical method of expert assessments. This method allows you to identify quickly the most problematic and costly work of the enterprises of heat supply arising both in the process of operation of the equipment and heating mains and in sudden emergency situations. Thus, it is possible to determine the list of preventive works that must be performed in the first place.

Scientific novelty. Studies using the mathematical and statistical method of expert assessments quickly identify problems in the organization of preventive repairs at heat supply enterprises.

Practical value. The recommendations based on the mathematical and statistical method of expert assessments improve the production of organizational works for the liquidation of emergency sections of heating mains and reduce the number of emergency works, which in turn reduce the incidence of workers in heat supply enterprises and increase labor safety, especially in the autumn-winter period of the year. It also reduces economic losses from liquidation of emergency situations and treatment of sick workers of heat generating enterprise.

Results. As the analysis of conducted studies showed the most significant in determining of the work order at enterprises, are the forecasting of emergency sections of heating mains and improving organizational repairs on heating mains. On the basis of preventive maintenance schedules, it is possible to prioritize the replacement of pipes in emergency areas, which will greatly facilitate the planning of repair works to replace emergency sections of pipelines. The most traumatic jobs are gas welding and electric welding, respectively, their specialties are a gas welder and an electric welder. The conditions of their work experts define as dangerous and harmful.

Keywords: expert evaluation, mathematical and statistical method of expert assessments, scores.

УДК 614.841.47

Швагер Н.Ю., Комісаренко Т.А., Нестеренко О.В. Розгляд технологій гасіння шахтних пожеж

Мета. Аналіз способів та засобів припинення пожежі в гірничих виробках. Необхідно проаналізувати активні, комбіновані способи гасіння пожеж, дати огляд первинних засобів пожежогасіння.

Методи дослідження. Наведено основні способи і засоби гасіння пожеж, проведено аналіз їх використання. Для успішного забезпечення пожежної безпеки необхідно використовувати організаційно-технічні заходи та протипожежний захист, з цією метою наведено аналіз способів і засобів гасіння пожеж.

Всі способи і тактичні прийоми гасіння пожеж зводяться до припинення доступу кисню до палаючих матеріалів і зниження їх температури, а при підземній пожежі - ще й до зниження температури оточуючих порід до меж, що виключають повторне загоряння. Особливо важливе значення набуває виконання умови пожежної безпеки при формуванні знань в галузі пожежної безпеки, тому дана стаття може бути використана в навчальному процесі при викладенні пожежної безпеки у вищих навчальних закладах.

Наукова новизна. Актуальність наукового дослідження визначається тим, чи його результати сприятимуть вирішенню конкретних практичних завдань при гасінні підземних рудникових пожеж.

Практична значимість. Проведений аналіз способів та засобів припинення пожежі в гірничих виробках дозволяє швидко орієнтуватися при виборі способів та засобів припинення пожежі.

Результати. Забезпечення пожежної безпеки на підприємствах гірничорудної галузі потребує уваги і впровадження організаційно-технічних заходів та протипожежного захисту на основі використання новітніх досліджень з нанотехнології, наприклад, наночастки з глини та цементу, які володіють властивістю налипання на предмети і перегороджують доступ кисню до поверхонь, що горять, а також використання роботів, що самостійно потрапляють до місця пожежі, долаючи вентиляційні канали, завали і задимлені проходи, через такі перешкоди людина пробратися не здатна. Роботи як і раніше контролюються пожежними, але ризики отримання травм при цьому зводяться до нуля для співробітників.

Ключові слова: пожежа, гірничі виробки, пожежна безпека, перемичка, первинні засоби пожежогасіння.

Швагер Н.Ю., Комісаренко Т.А., Нестеренко О.В. Рассмотрение технологий тушения шахтных пожаров

Цель. Анализ способов и средств прекращения пожара в горных выработках. Необходимо проанализировать активные, комбинированные способы тушения пожаров, дать обзор первичных средств пожаротушения.

Методы исследования. Приведены основные способы и средства тушения пожаров, проведен анализ их использования. Для успешного обеспечения пожарной безопасности необходимо использовать организационно-технические мероприятия и противопожарную защиту, с этой целью приведен анализ способов и средств тушения пожаров.

Все способы и тактические приемы тушения пожаров сводятся к прекращению доступа кислорода к горящим материалам и снижению их температуры, а при подземном пожаре - еще и к снижению температуры окружающих пород до пределов, исключающих повторное возгорание. Особенно важное значение приобретает выполнение условия пожарной безопасности при формировании знаний в области пожарной безопасности, поэтому данная статья может быть использована в учебном процессе при изложении пожарной безопасности в высших учебных заведениях.

Научная новизна. Актуальность научного исследования определяется тем, будут ли его результаты способствовать решению конкретных практических задач при тушении подземных рудничных пожаров.

Практическая значимость. Проведенный анализ способов и средств прекращения пожара в горных выработках позволяет быстро ориентироваться при выборе способов и средств прекращения пожара.

Результаты. Обеспечение пожарной безопасности на предприятиях горнорудной отрасли требует внимания и внедрения организационно-технических мероприятий и противопожарной защиты на основе использования новейших исследований по нанотехнологии, например, наночастицы из глины и цемента, которые обладают свойством налипания на предметы и перегородивают доступ кислорода к горящим поверхностям, а также использование роботов, самостоятельно попадающих к месту пожара, преодолевая вентиляционные каналы, завалы и задымленные проходи,

человек не способен пробраться через такие препятствия. Роботы по-прежнему контролируются пожарными, но риски получения травм при этом сводятся к нулю для сотрудников.

Ключевые слова: пожар, горные выработки, пожарная безопасность, перемычка, первичные средства пожаротушения.

Schwager N. Y., Komisarenko T. A., Nesterenko O. V. Mine fire fighting technologies

Purpose. To analyze the ways and means to cease fire in the mine workings; to analyze active, combined fire extinguishing methods, as well as the primary fire extinguishing means.

Research methods. The basic ways and means of fighting fires in terms of the organizational and technical measures for successful fire safety.

The methods and tactics of fighting fires consist in blocking oxygen to the burning materials and reducing their temperature; in case of underground fires, it is necessary to reduce the temperature of the surrounding rock to avoid re-ignition. A particular importance allows for the execution of fire safety in the field of fire safety knowledges, so this article can be used in fire safety educational process in higher education.

Scientific novelty. The relevance of research is determined by its results on the solution of specific practical problems in extinguishing underground mine fires.

Practical value. The analysis of the ways and means to cease an underground fire allows to quickly navigate with a choice of ways and means of the above.

Results. Fire safety in the mining industry requires attention and implementation of organizational and technical measures and fire protection through the use of the latest research in nanotechnology. The nanoparticles of clay and cement with the property of sticking to the objects and blocking the access of oxygen to the burning surface and the robots going to the fire ensure overcoming the ventilation ducts, obstructions and smoke-filled passages. Robots are still controlled by firefighters, hence, the risk of the employees' injury in this case reduces to zero.

Keywords: fire, mining, fire safety, bridge, primary fire extinguishing means.

УДК 621.791.927.55

Нечаев В.П., Рязанцев А.О. Оптимізація технологічних параметрів процесу поверхневого плазмового зміцнення великомодульних зубчастих коліс

Мета. Вдосконалення технології виробництва гірничих машин, розробка й оптимізація параметрів процесу поверхневого зміцнення великомодульних зубчастих коліс для підвищення зносостійкості, довговічності передач приводів рудорозмельних млинів.

Методи дослідження. Дослідження властивостей сталей після поверхневої плазмової обробки забезпечено розробленою методикою розрахунків оптимальних режимів плазмової обробки зразків, що заснована на врахуванні теплофізичних параметрів плазмового струменя. Для оптимізації параметрів поверхневого плазмового зміцнення за економічним критерієм застосовувалось математичне моделювання, організовано активний експеримент шляхом використання послідовного симплекс-методу, для вивчення області оптимуму поверхні відгуку була використана нелінійна стохастична модель.

Наукова новизна. Встановлено аналітичний зв'язок та виявлено вплив параметрів режиму поверхневого плазмового зміцнення на відносний термін експлуатації великомодульних зубчастих коліс. Це дозволило отримати оптимальні співвідношення параметрів процесу, які забезпечують найкращі показники, щодо зносостійкості робочих поверхонь великомодульних зубчастих передач.

Практична значимість. В умовах поверхневого плазмового зміцнення ефективність плазмової дуги, як джерела нагрівання, суттєво залежить від співвідношення розмірів теплового джерела, його швидкості й теплової потужності; раціональним слід уважати таке їх співвідношення, при якому температура поверхні, що нагрівається, на задній границі плями нагрівання досягає, але не перевищує температури плавлення для даного матеріалу. Розроблено основні вимоги і принципи вибору оптимальних технологічних параметрів поверхневого плазмового зміцнення для підвищення зносостійкості великомодульних зубчастих коліс у залежності від умов їх експлуатації.

Результати. В результаті математичного моделювання виявлено вплив параметрів режиму поверхневого плазмового зміцнення на відносний термін експлуатації великомодульних зубчастих коліс. Проведено оптимізацію параметрів процесу підвищення зносостійкості зубчастих передач, шляхом математичного моделювання процесів поверхневого плазмового зміцнення зубчастих коліс. Отримано оптимальні співвідношення величини швидкості руху джерела нагрівання й сили струму плазмової дуги, що дозволило встановити збільшення строку експлуатації зубчастих коліс.

Ключові слова: поверхнєве плазмове зміцнення, швидкокорухоме джерело нагрівання, зносостійкість, оптимізація процесу, математичне моделювання.

Нечаев В.П., Рязанцев А.А. Оптимизация технологических параметров процесса поверхностного плазменного упрочнения крупномодульных зубчатых колес

Цель. Усовершенствование технологии изготовления горных машин, разработка и оптимизация параметров процесса поверхностного упрочнения крупномодульных зубчатых колес для повышения износостойкости, долговечности передач приводов рудоразмельных мельниц.

Методы исследования. Исследование свойств сталей после поверхностной плазменной обработки обеспечено разработанной методикой расчетов оптимальных режимов плазменной обработки образцов, которая основана на учете теплофизических параметров плазменной струи. Для оптимизации параметров поверхностного плазменного упрочнения по экономическим критериям применялось математическое моделирование, организован активный эксперимент путем использования последовательного симплекс-метода, для определения области оптимума поверхности отклика была использована нелинейная стохастическая модель.

Научная новизна. Установлена аналитическая связь и определено влияние параметров режима поверхностного плазменного упрочнения на относительный срок эксплуатации крупномодульных зубчатых колес. Это позволило

получить оптимальные соотношения параметров процесса, которые обеспечивают лучшие показатели, относительно износостойкости рабочих поверхностей крупномодульных зубчатых передач.

Практическое значение. В условиях поверхностного плазменного упрочнения эффективность плазменной дуги, как источника нагрева, существенно зависит от соотношения размеров теплового источника, его скорости и тепловой мощности; рациональным следует считать такое их соотношение, при котором температура поверхности, которая нагревается, на заданной границе пятна нагрева достигает, но не превышает температуру плавления для данного материала. Разработано основные требования и принципы выбора оптимальных технологических параметров поверхностного плазменного упрочнения для повышения износостойкости крупномодульных зубчатых колес в зависимости от условий их эксплуатации.

Результаты. В результате математического моделирования определено влияние параметров режима поверхностного плазменного упрочнения на относительный срок эксплуатации крупномодульных зубчатых колес. Проведено оптимизацию параметров процесса повышения износостойкости зубчатых передач, путем математического моделирования процессов поверхностного плазменного упрочнения зубчатых колес. Получены оптимальные соотношения величины скорости движения источника нагрева и силы тока плазменной дуги, что позволило установить увеличение срока эксплуатации зубчатых колес.

Ключевые слова: поверхностное плазменное упрочнение, быстро движущийся источник нагрева, износостойкость, оптимизация процесса, математическое моделирование.

Nechaev V.P., Riazantsev A.O. Optimization of the parameters of plasma case-hardening of coarse pitch gears

Purpose. The improvement of the technology of manufacturing mining machinery; the development and parameter optimization of the surface hardening of coarse pitch gear in order to improve wear resistance and durability of gear drives of ore-pulverizing mills.

Research methods. The study of the properties of steels after surface plasma processing is provided by the developed method for calculating the optimal modes of plasma processing of samples, which is based on the thermal physical parameters of a plasma jet. To optimize the parameters of plasma case-hardening according to economic criteria, mathematical modeling was used, an active experiment was organized using a sequential simplex method, and a non-linear stochastic model was used to determine the optimum surface area of the response.

Scientific novelty. The analytical connection was first established and the influence of the plasma case-hardening mode parameters on the relative lifetime of the large-toothed gear wheels was found. This allowed to obtain optimal ratios of process parameters, which provide the best performance in terms of wear resistance of the working surfaces of large-body gears.

Practical significance. Under the conditions of plasma case-hardening, the efficiency of the plasma arc as a heat source significantly depends on the dimension ratio of the heat source, its speed and thermal power. It is necessary to consider as rational such a relation, at which the temperature of the surface that heats at the given boundary of the heating spot reaches, but does not exceed the melting temperature for this material. The basic requirements and principles of the optimal technological parameters of the plasma case-hardening are developed to increase the efficiency of large-wheel gear wheels depending on their operation.

Results. The influence of the parameters of the plasma case-hardening on the relative service life of coarse pitch gears was determined. The parameters of increasing the wear resistance of gears by means of mathematical modeling of the plasma case-hardening processes of gear wheels were optimized. The optimal ratios of the velocity of the heat source movement and the current strength of the plasma arc were obtained, which increases service life of the gear wheels.

Keywords: plasma case-hardening, fast-moving heat source, wear resistance, process optimization, mathematic simulation.

Лапшин О.Є., Лапшин О.О. Охорона рудникової атмосфери від забруднення в гірничих виробках шахт

Мета. Запропонувати найбільш прийнятний спосіб провітрювання кар'єрів і шахт при їх сумісній розробці родовищ залізних руд, який дозволяє знизити екологічні проблеми, підтримувати виробничі потужності, зменшити економічні витрати та забезпечити безпеку працюючих на підземних і на відкритих роботах.

Метод дослідження. Застосовувався комплексний метод, який передбачав аналіз переваг та недоліків всмоктувального і нагнітального способів провітрювання, дослідження технічних параметрів способу очищення повітря від шкідливих домішок. Аналіз застосування різних способів провітрювання кар'єрів і шахт при сумісній розробці родовищ залізних руд. Існуючий всмоктувальний спосіб провітрювання шахт має цілий ряд недоліків, таких як непродуктивні витрати повітря та можливість потрапляння шкідливих газів з кар'єру у гірничі виробки. Нагнітальний спосіб провітрювання шахт небезпечний потраплянням пилу і отруйних газів з шахт в кар'єрний простір.

Новизна отриманих результатів полягає у тому, що запропоновано провітрювання кар'єрів і шахт за сумісною схемою з використанням вентиляторної установки розташованої на поверхні та очищення повітря за допомогою гідравлічних завіс в підземних виробках.

Практична цінність запропонованого способу провітрювання визначається тим, що його застосування в умовах відкрито-підземної розробки родовищ дозволяє використовувати відпрацьовані гірничі виробки для надходження повітря і пересування потужних бурових і навантажувальних машин в шахтах.

Результати розрахунків і випробувань дозволяють рекомендувати спосіб провітрювання шахт і кар'єрів за допомогою одного вентилятора при цьому використовуються відпрацьовані гірничі виробки для надходження повітря і потужної техніки та природна тяга, яка дозволяє підвищити ефективність вентиляції. Запропоновано спосіб очищення забрудненого повітря за допомогою гідравлічних завіс високого тиску. Використання гідравлічних завіс дозволяє знизити вміст шкідливих домішок у рудниковому повітрі до санітарних норм і поліпшити умови праці в кар'єрах і в гірничих виробках шахт.

Ключові слова: кар'єр, шахта, гірничі виробки, провітрювання, вентилятор, пил, гази, завіса.

Лапшин А. Е., Лапшин А. А. Охрана рудничной атмосферы от загрязнения в горных выработках шахт

Цель. Предложить приемлемый способ проветривания карьеров и шахт при их совместной разработке месторождений железных руд, который позволяет снизить экологические проблемы, поддерживать производственные мощно-

сти, уменьшить экономические затраты и обеспечить безопасность работающих на подземных и на открытых работах.

Метод исследования. Применялся комплексный метод, который предусматривал анализ преимуществ и недостатков всасывающего и нагнетательного способов проветривания, исследования технических параметров способа очистки воздуха от вредных примесей. Анализ применения различных способов проветривания карьеров и шахт при совместной разработке месторождений железных руд. Существующий всасывающий способ проветривания шахт имеет целый ряд недостатков, таких как непроизводительные утечки воздуха и возможность попадания вредных газов из карьера в горные выработки. Нагнетательный способ проветривания опасен попаданием пыли и ядовитых газов из шахт в карьер.

Новизна полученных результатов заключается в том, что предложено проветривание карьеров и шахт по совместной схеме с использованием вентиляторной установки расположенной на поверхности и очистку воздуха с помощью гидравлических завес в подземных выработках.

Практическая ценность предложенного способа проветривания определяется тем, что его применение в условиях открыто-подземной разработки месторождений позволяет использовать отработанные горные выработки для поступления воздуха и передвижения мощных буровых и погрузочных машин в шахтах.

Результаты расчетов и испытаний позволяют рекомендовать способ проветривания шахт и карьеров с помощью одного вентилятора при этом используются отработанные горные выработки для поступления воздуха и передвижения мощной техники и естественная тяга, которая позволяет повысить эффективность вентиляции. Предложен способ очистки загрязненного воздуха с помощью гидравлических завес высокого давления. Применение гидравлических завес позволяет снизить содержание вредных примесей в рудничном воздухе до санитарных норм и улучшить условия труда в карьерах и в горных выработках шахт.

Ключевые слова: карьер, шахта, горная выработка, проветривание, вентилятор, пыль, газы, завеса.

Lapshyn O. Ye., Lapshyn O. O. Protection of the mine atmosphere from the pollution in mine workings

Purpose. To suggest an acceptable way of ventilating quarries and mines by their joint development of iron ore deposits, which allows to reduce environmental problems, maintain production capacity, reduce economic costs and provide safety for workers in underground and open works.

Research methods. A complex method was used that provided for analysis of advantages and disadvantages of suction and injection methods of airing, research of technical parameters of the method of air purification from harmful impurities. Method of investigation - a complex method was used that provided for analysis of advantages and disadvantages of suction and aspirating methods of airing, research of technical parameters of the method of air purification from harmful impurities. Analysis of the different ways of ventilation of quarries and mines with the co-development of iron ore deposits. The existing suction method for the ventilation of mines has a number of disadvantages, such as unproductive air leaks and the possibility of harmful gases coming from the quarry into the mine workings. The injection method of ventilation of mines is dangerous for dust and poisonous gases to enter the quarry from the mines.

Scientific novelty. The ventilation of quarries and mines is proposed in a joint scheme using a fan installation located on the surface and air purification by means of hydraulic curtains in underground workings.

Practical value. The proposed method of ventilation in terms of open-underground mining of deposits allows the use of waste mining operations for the flow of air and the movement of powerful drilling and loading machines in the mines.

The results of calculations and tests allow us to recommend a method for ventilating mines and quarries with the help of a single fan. In this case, waste mining is used for air intake and movement of powerful equipment and natural draft, which makes it possible to increase the efficiency of ventilation. A method for cleaning contaminated air using hydraulic high-pressure curtains is proposed. The use of hydraulic curtains allows reducing the content of harmful impurities in mine air to sanitary standards and improving working conditions in quarries and mining workings of mines.

Keywords: quarry, mine, mining, ventilation, fan, dust, gases, curtains.

УДК 624.012.454

Валовой О.І., Єрьоменко О.Ю., Валовой М.О. Визначення впливу форми поперечного перерізу стиснутих залізобетонних елементів на ефективність їх підсилення зовнішнім армуванням композитними полотнищами

Мета. Дослідження специфіки розподілу напружень за поперечним перерізом залізобетонних колон підсилення зовнішнім оклеюванням композитними полотнищами за умови різної форми їх поперечного перерізу.

Методи дослідження. Систематизація та аналіз існуючих відомостей про напружено-деформований стан залізобетонних стиснутих елементів підсилення зовнішнім армуванням композитними полотнищами.

Наукова новизна. Виконано дослідження існуючих в відкритому доступі результатів експериментальних випробувань стиснутих залізобетонних елементів різної форми поперечного перерізу підсилення зовнішнім армуванням композитними полотнищами. Порівняно з традиційними способами підсилення об'ємів з композитних матеріалів дозволяють значно підвищити загальну пластичність перерізу завдяки тому, що бетон при всебічному стисненні може розвивати більш високі деформації до руйнування. Встановлено, що форма поперечного перерізу істотно впливає на показники несучої здатності даних елементів після підсилення. В круглих зразках коефіцієнт підсилення є найбільшим зменшуючись зі зменшення кутових радіусів колони. Підсилення композитними об'ємками найменш ефективне в зразках, що мають гострі кути.

Практична значимість. Встановлено, що композитні полотнища є ефективним матеріалом для підсилення бетонних та залізобетонних колон шляхом зовнішнього армування. Даний вид підсилення дозволяє відновити експлуатаційні характеристики колон, а також збільшити їх несучу здатність, в залежності від форми поперечного перерізу.

Результати. Встановлено, що рівень несучої здатності підсилення композитною об'ємкою колон круглого перерізу збільшився у 3,7 рази, а прямокутного у 1,86 рази порівняно з непідсиленнями зразками відповідної форми поперечного перерізу. Вичерпання несучої здатності в прямокутних колонах підсилення композитною об'ємкою відбувається

ся за рахунок руйнування композиту в кутах, де концентрація напружень найбільша за рівнем навантаження. Для підвищення ефективності даного виду підсилення передбачено заокруглення гострих кутів колон.

Ключові слова: залізобетонна колона, форма перерізу, підсилення, композитні полотна, несуча здатність
Валовой А.И., Ерёмченко А.Ю., Валовой М.А. Определение влияния формы поперечного сечения сжатых железобетонных элементов на эффективность их усиления внешним армированием композитными холстами

Цель. Исследование специфики распределения напряжений по поперечному сечению железобетонных колонн усиленных внешним оклеиванием композитными холстами при разной форме их поперечного сечения.

Методы исследования. Систематизация и анализ существующих сведений о напряженно-деформированном состоянии железобетонных сжатых элементов усиленных внешним армированием композитными холстами.

Научная новизна. Выполнено исследование существующих, в открытом доступе, результатов экспериментальных испытаний сжатых железобетонных элементов различной формы поперечного сечения усиленных внешним армированием композитными холстами. По сравнению с традиционными способами усиления обоймы из композитных материалов позволяют значительно повысить общую пластичность сечения благодаря тому, что бетон, при всестороннем сжатии, может развивать более высокие деформации до разрушения. Установлено, что форма поперечного сечения существенно влияет на показатели несущей способности данных элементов после усиления. В круглых образцах коэффициент усиления самый высокий, уменьшаясь с уменьшением угловых радиусов сечения колонны. Усиление композитными обоймами наименее эффективно в образцах, имеющих острые углы.

Практическая значимость. Установлено, что композитные холсты являются эффективным материалом для усиления бетонных и железобетонных колонн путем внешнего армирования. Данный вид усиления позволяет восстановить эксплуатационные характеристики колонн, а также увеличить их несущую способность, в зависимости от формы поперечного сечения.

Результаты. Установлено, что уровень несущей способности усиленных композитной обоймой колонн круглого сечения увеличился в 3,7 раза, а прямоугольного в 1,86 раза по сравнению с не усиленными образцами соответствующей формы поперечного сечения. Истощение несущей способности в прямоугольных колоннах усиленных композитной обоймой происходит за счет разрушения композита в углах, где возникает наибольшая концентрация напряжений при уровне нагрузки. Для повышения эффективности данного вида усиления предусматривено закругление острых углов колонн.

Ключевые слова: железобетонная колонна, форма сечения, усиление, композитные холсты, несущая способность
Valovoi A.I., Yeriomenko A.Yu., Valovoi M.A. Efficiency determination of the influence of the cross-section shape on the compressed ferro-concrete elements strengthened with outer reinforcement using the carbon fiber sheets

Purpose. The specificity research of the stresses distribution on the cross-section of reinforced concrete columns reinforced by the external gluing with carbon fiber sheets provided different shapes of their cross-section.

Research methods. Systematization and analysis of existing information on the stress-strain state of reinforced concrete elements strengthened with external reinforcement using carbon fiber sheets.

Scientific novelty. The research of the existing open access results of experimental tests of the compressed reinforced concrete elements of cross section with various shapes reinforced with external reinforcement carbon fiber sheets is executed. Compared with the traditional strengthening methods of the jackets of composite materials, it can significantly increase the overall plasticity of the section due to the fact that concrete with a comprehensive compression can develop higher deformations to fracture. It has been established that the shape of the cross-section substantially affects the performance of these elements after amplification. In round samples, the gain is the largest decreasing with decreasing angular radii of the column. Composite reinforcement is least effective in specimens with sharp corners.

Practical value. It has been established that the carbon fiber sheets are an effective material for the strengthening of concrete and reinforced concrete columns by external reinforcement. This type of reinforcement allows us to restore the performance of the columns, as well as increase their bearing ability, depending on the shape of the cross-section.

Results. It was established that the level of bearing ability for the circular columns strengthened with carbon fiber sheets wrapping was increased by 3.7 times, and for rectangular ones by 1.86 times compared with non-reinforced specimens of the corresponding cross-sectional shape. Exhaustion of bearing ability in rectangular columns reinforced with the carbon fiber sheets is due to the destruction of the composite in the corners, where the stress concentration is highest at the load level. In order to increase the efficiency of this type of strengthening, rounding the sharp corners of the columns is provided.

Keywords. reinforced concrete column, shape of cross-section, reinforcement, carbon fiber sheets, bearing ability

УДК 620.92:[658.26:351.824.11]

Замицький О.В., Калініченко А.А. Принципи застосування альтернативних джерел енергії на об'єктах теплопостачання комунального господарства та виробництва

Мета. Сучасна енергетика в основному базується на невідновлювальних джерелах енергії, які мають обмежені запаси. Тому вони не можуть гарантувати стійкий розвиток світової енергетики на тривалу перспективу, а їх використання – один з головних факторів, який негативно впливає на навколишнє середовище. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії є одним із важливих критеріїв сталого розвитку світової спільноти. Адже їх використання є екологічно безпечним для навколишнього середовища. Здійснюється пошук нових і вдосконалення існуючих технологій застосування альтернативних джерел енергії, виведення їх до економічно ефективного рівня та розширення сфер їх використання. Тому мета запропонованої наукової статті полягає у розробці системного підходу до обґрунтування доцільності застосування комбінацій нетрадиційних джерел енергії в схемах теплопостачання комунального господарства та виробництва.

Методи. У науковій роботі розглянуті такі методи: теоретичні дослідження роботи компонентів схем теплопостачання комунальних об'єктів на основі нетрадиційних джерел енергії в заданих кліматичних умовах; аналітичні методи, за допомогою яких проведено аналіз шляхів використання нетрадиційних джерел; методи математичної статистики для оброблення даних.

Наукова новизна наукової праці полягає в обґрунтуванні та вирішенні науково-технічної задачі підвищення оцінки доцільності застосування комбінацій нетрадиційних джерел енергії в схемах теплопостачання об'єктів із врахуванням кліматичних умов місцевості.

Практична значимість. Дане наукове дослідження присвячено виявленню найбільш раціональних комбінацій методів використання альтернативних джерел, що в свою чергу дозволяє поліпшити існуючі технології, виведення їх до економічно ефективного рівня та розширення сфер використання.

Результати. У даній науковій праці запропоновано новий системний підхід до оцінювання доцільності застосування різних комбінацій нетрадиційних джерел енергії в схемах енергопостачання комунального господарства та виробництва із врахуванням кліматичних умов місцевості.

Ключові слова: нетрадиційні, джерела, енергія, ефективність, комунальне господарство, відновлювальні, альтернативні, енергетика.

Замыцкий О.В., Калининченко А.А. Принципы применения альтернативных источников энергии на объектах теплоснабжения коммунального хозяйства и производства

Цель. Современная энергетика в основном базируется на не возобновляемых источниках энергии, которые имеют ограниченные запасы. Поэтому они не могут гарантировать устойчивое развитие мировой энергетике на длительную перспективу, а их использование – один из главных факторов, который негативно влияет на окружающую среду. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии является одним из важных критериев устойчивого развития мирового сообщества. Ведь их использование – экологически безопасно для окружающей среды. Осуществляется поиск новых и совершенствование существующих технологий применения альтернативных источников энергии, вывод их к экономически эффективному уровню и расширение сфер их использования. Поэтому цель предлагаемой научной статьи заключается в разработке системного подхода к обоснованию целесообразности применения комбинаций нетрадиционных источников энергии в схемах теплоснабжения коммунального хозяйства и производства.

Методы. В научной работе рассмотрены следующие методы: теоретические исследования работы компонентов схем теплоснабжения коммунальных объектов на основе нетрадиционных источников энергии в заданных климатических условиях; аналитические методы, с помощью которых проведен анализ путей использования нетрадиционных источников; методы математической статистики для обработки данных.

Научная новизна заключается в обосновании и решении научно-технической задачи повышения целесообразности применения комбинаций нетрадиционных источников энергии в схемах теплоснабжения объектов с учетом климатических условий местности.

Практическая значимость. Данное научное исследование посвящено выявлению наиболее рациональных комбинаций методов использования альтернативных источников, что в свою очередь позволяет улучшить существующие технологии, вывод их к экономически эффективному уровню и расширение сфер использования.

Результаты. В данной научной работе предложен новый системный подход к оценке целесообразности применения различных комбинаций нетрадиционных источников энергии в схемах энергоснабжения коммунального хозяйства и производства с учетом климатических условий местности.

Ключевые слова: нетрадиционные источники, энергия, эффективность, коммунальное хозяйство, восстановительные, альтернативные, энергетика.

Zamytskyi O.V., Kalinichenko A.A. Principles of application of alternative energy sources on heating objects of municipal equipment and manufacture

Purpose. Modern energy is basically based on non-renewable energy sources that have limited supplies. Therefore, they can not guarantee the sustainable development of the world's energy for a long-term perspective, and their use is one of the main factors that negatively affects the environment. Unconventional and renewable energy sources are one of the important criteria for the sustainable development of the world community. After all, their use is ecologically safe for the environment. The search for new and improved existing technologies for the use of alternative energy sources is being carried out, bringing them to an economically efficient level and expanding the scope of their use. Therefore, the purpose of the proposed scientific article is to develop a systematic approach to justify the expediency of using combinations of nonconventional energy sources in the schemes of heat supply of public utilities and production.

Research methods. The following methods are considered in the scientific work: theoretical studies of the components of the heat supply schemes of municipal objects on the basis of non-traditional energy sources under given climatic conditions; analytical methods, with the help of which analysis of ways of using non-traditional sources; methods of mathematical statistics for data processing.

Scientific novelty consists in substantiating and solving the scientific and technical task of increasing the expediency of using combinations of nonconventional energy sources in the schemes of heat supply of objects taking into account the climatic conditions of the terrain.

Practical value. This research study is devoted to identifying the most rational combinations of methods of using alternative sources, which in turn allows you to improve existing technologies, bring them to a cost-effective level and expand the scope of use.

Results. In this scientific work a new systematic approach is proposed to assess the feasibility of using various combinations of nonconventional energy sources in the schemes of power supply of the communal economy and production taking into account the climatic conditions of the terrain.

Keywords: non-traditional sources, energy, efficiency, utilities, regenerative, alternative, energy.

УДК 681.03

Вдовиченко І.Н., Ватря О.С. Аналіз додатку емуляції тривимірної сцени із використанням шейдерів та засобів OpenGL

Мета дослідження. Побудова тривимірної сцени за допомогою шейдерів та бібліотеки OpenGL.

Методи дослідження. Програмування та математична обробка наборів векторних графічних примітивів.

Наукова новизна. Системний аналіз побудови тривимірної сцени за допомогою шейдерів та бібліотеки OpenGL.

Практична значимість. Удосконалено можливості відкритого стандарту, такі як поглинання та розсіювання світла, накладення текстур та ефекту пост-обробки. Представлені блок-схема алгоритму роботи шейдерів вершин та геометрії та блок-схема алгоритму роботи шейдерів вершин та геометрії для створення пост-обробки. Відзначено особливості програмування даної сфери. Запропоновано методи та алгоритми вирішення задач створення програмного забезпечення візуалізації тривимірної сцени.

Результати. У публікації розглянуто спосіб поєднання функціоналу OpenGL з засобами шейдерів для досягнення оптимальної швидкодії при обробці графічних об'єктів. Представлено можливості додатку для моделювання тривимірної сцени із використанням потужностей шейдерів та OpenGL. Розглянуто призначення шейдерів. Відмічено, що OpenGL - це графічний стандарт в області комп'ютерної графіки. На даний момент він є одним з найпопулярніших графічних стандартів у всьому світі. Стаття характеризує OpenGL, як єдиний стандарт для розробки тривимірних додатків, що поєднує в собі такі якості як силу і в той же час простоту. Мультиплатформеність дозволяє легко переносити програмне забезпечення з однієї операційної системи в іншу. Активне використання тривимірної графіки в багатьох сферах наукової діяльності та промисловості є актуальною проблемою. Традиційно підтримка тривимірної графіки обмежувалася високопродуктивними комп'ютерами або спеціалізованими ігровими консолями, а її програмування вимагало застосування складних алгоритмів. Однак, завдяки зростанню продуктивності персональних комп'ютерів і розширенню можливостей браузерів стало можливим створення і відображення тривимірної графіки із застосуванням нових технологій.

Ключові слова: шейдер, тривимірні сцени, графічні об'єкти, інтерфейс, відеоефекти.

Вдовиченко И.Н., Ватря О.С. Анализ приложения эмуляции трехмерных сцен с использованием шейдеров и средств OpenGL

Цель исследования. Построение трехмерной сцены с помощью шейдеров и библиотечки OpenGL.

Методы исследования. Программирование и математическая обработка наборов векторных графических примитивов.

Научная новизна. Системный анализ построения трехмерной сцены с помощью шейдеров и библиотечки OpenGL.

Практическая значимость. Усовершенствованы возможности открытого стандарта, такие как поглощение и рассеивание света, наложения текстур и эффекта пост-обработки. Представленные блок-схема алгоритма работы шейдеров вершин и геометрии и блок-схема алгоритма работы шейдеров вершин и геометрии для создания пост-обработки. Отмечены особенности программирования данной сферы. Предложены методы и алгоритмы решения задач создания программного обеспечения визуализации трехмерной сцены.

Результаты. В статье представлены возможности приложения для моделирования трехмерной сцены с использованием мощностей шейдеров и OpenGL. Рассмотрен способ сочетания функционала OpenGL со средствами шейдеров для достижения оптимального быстродействия при обработке графических объектов. Рассмотрены назначение шейдеров. Отмечено, что OpenGL - это графический стандарт в области компьютерной графики. На данный момент он является одним из самых популярных графических стандартов во всем мире. Статья характеризует OpenGL, как единый стандарт для разработки трехмерных приложений, сочетает в себе такие качества как силу и в то же время простоту. Мультиплатформенность позволяет легко переносить программное обеспечение с одной операционной системы в другую. Активное использование трехмерной графики во многих сферах научной деятельности и промышленности является актуальной проблемой. Традиционная поддержка трехмерной графики ограничивалась высокопроизводительными компьютерами или специализированными игровыми консолями, а ее программирование требовало применения сложных алгоритмов. Однако, благодаря росту производительности персональных компьютеров и расширению возможностей браузеров стало возможным создание и отображение трехмерной графики с применением новых технологий.

Ключевые слова: шейдер, трехмерные сцены, графические объекты, интерфейс, видеоэффекты.

Vdovychenko I.N., Vatria O.S. Analysis of the emulation of three-dimensional scenes using OpenGL shaders and means

Purpose. The construction of a three-dimensional scene using shaders and the OpenGL library.

Research methods. Programming and mathematical processing of sets of vector graphic primitives.

Scientific novelty. A systematic analysis of the construction of a three-dimensional scene using shaders and the OpenGL library.

Practical significance. Improved open standards, such as light absorption and diffusion, textures, and post-processing effects. The block diagram of algorithm of work of vertex shaders and geometry and block diagram of algorithm of work of vertex shaders and geometry for post-processing are presented. The specialties of programming of this sphere are noted. The methods and algorithms for solving problems of creating software for visualization of a three-dimensional scene are proposed.

Results. The article presents the capabilities of an application for simulating a three-dimensional scene using the power of shaders and OpenGL. Shader assignment is considered. It is noted that OpenGL is a graphic standard in the field of computer graphics. At the moment, it is one of the most popular graphic standards around the world. The article describes OpenGL as the only standard for the development of three-dimensional applications, which combines such qualities as strength and, at the same time, simplicity. Multiplatformism makes it easy to transfer software from one operating system to another. The active use of three-dimensional graphics in many areas of scientific activity and prom-word is an urgent problem. Traditionally, support for three-dimensional graphics was limited to high-performance computers or specialized game consoles, and its programming required the use of complex algorithms. However, due to increased productivity of personal computers and the expanding capabilities of browsers, it became possible to create and display three-dimensional graphics with the use of new technologies.

Keywords: shader, three-dimensional scenes, graphic objects, interface, video effects.

УДК 581.524.3

Герасимова К.В., Тихоступ В.В. Фізико-хімічні показники води шламосховищ Криворізького регіону та їх зв'язок з флористичною структурою прибережної рослинності

Мета. Вивчення флористичної структури рослинного покриву шламосховищ Криворізького регіону; визначення екологічної якості води, як формоутворюючого компоненту прибережних рослинних угруповань.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети використовувались фізико-хімічні методи визначення складу води на вміст металів та йонів. Екологічна оцінка якості води в шламосховищах визначалася на основі загально-відомої класифікації А. А. Алексіна. При вивченні складу рослинних угруповань використовувались загальноприйняті методики геоботанічних описів. При визначенні видового складу рослинного покриву використовувався «Визначник вищих рослин України».

Наукова новизна. Встановлено, що за тривалий час склались певні біогеоценотичні відносини між елементами техногенно-змінених ландшафтних систем. Серед них важливу роль відіграють прибережні рослинні угруповання, які ще дотепер недостатньо вивчені дослідниками. Визначено, що склад води є формоутворюючим компонентом прибережного рослинного покриву досліджуваних об'єктів. Проведено фізико-хімічний аналіз води шламосховищ та виявлено прямий зв'язок показників води з флористичною структурою прибережної рослинності.

Практична значимість. Отримані результати досліджень дозволяють зробити розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод шламосховищ і мають важливе практичне значення для інженерів-екологів. Ці показники дозволяють правильно обирати методи очищення стічних вод з урахуванням рослинних угруповань, ступеня очищення і рН-стану водного джерела. В техногенних умовах особливо посилюється необхідність аналізу гідробіологічних процесів, що дає можливість прогнозувати зміни якості води і подальший стан існування гідробіоти для попередження небезпечних екологічних наслідків. Ефективне проведення такого аналізу можливе за умови комплексного підходу, а саме – застосування гідрохімічних і біоіндикаційних методів. Вони дозволяють діагностувати зміни екологічного стану природного середовища.

Результати. Запропоновано таксономічну, екологічну, біоморфічну та географічну структуру рослинних угруповань шламосховищ Криворізького регіону; сформовані типи рослинних угруповань за гідрохімічними показниками складу води.

Ключові слова: шламосховище, аналіз води, прибережна рослинність, екологічна оцінка.

Герасимова К.В., Тихоступ В.В. Физико-химические показатели воды шламохранилищ Криворожского региона и их связь с флористической структурой прибрежной растительности

Цель. Изучение флористической структуры растительного покрова шламохранилищ Криворожского региона; определение экологического качества воды, как формообразующего компонента прибрежных растительных сообществ.

Методы исследования. Для достижения поставленной цели использовались физико-химические методы определения состава воды на содержание металлов и ионов. Экологическая оценка качества воды в шламохранилищах определялась на основе общеизвестной классификации А. А. Алексина. При изучении состава растительных сообществ использовались общепринятые методики геоботанических описаний. При определении видового состава растительного покрова использовался «Определитель высших растений Украины».

Научная новизна. Установлено, что в течение длительного времени сложились определенные биogeоценотические отношения между элементами техногенно-измененных ландшафтных систем. Среди них важную роль играют прибрежные растительные сообщества, которые до сих пор еще недостаточно изучены исследователями. Определено, что состав воды является формообразующим компонентом прибрежного растительного покрова исследуемых объектов. Проведен физико-химический анализ воды шламохранилищ и выявлена прямая связь показателей воды с флористической структурой прибрежной растительности.

Практическая значимость. Полученные результаты исследований позволяют сделать расчет необходимой степени очистки сточных вод шламохранилищ и имеют важное практическое значение для инженеров-экологов. Эти показатели позволяют правильно выбирать методы очистки сточных вод с учетом растительных сообществ, степени очистки и рН-состояния водного источника. В техногенных условиях особенно усиливается необходимость анализа гидробиологических процессов, что позволяет прогнозировать изменения качества воды и дальнейшее состояние существования гидробиоты для предупреждения опасных экологических последствий. Эффективное проведение такого анализа возможно при условии комплексного подхода, а именно - применения гидрохимических и биоиндикационных методов. Они позволяют диагностировать изменения экологического состояния природной среды.

Результаты. Предложена таксономическая, экологическая, биоморфическая и географическая структура растительных сообществ шламохранилищ Криворожского региона; сформированы типы растительных сообществ по гидрохимическим показателям состава воды.

Ключевые слова: шламохранилище, анализ воды, прибрежная растительность, экологическая оценка.

Herasyimova K.V., Tykhostup V.V. Physical and chemical indicators of water of sludge storages of the Kryvyi Rih region and their relation to the floristic structure of coastal vegetation

Purpose. Study of the floristic structure of the vegetation cover of slurry storages of the Kryvyi Rih region; determination of ecological quality of water as a form-forming component of coastal plant communities.

Research methods. Physical and chemical methods of determining the composition of water for the content of metals and ions were used to achieve the purpose. The environmental assessment of water quality in slurry storages was determined on the basis of the well-known classification Alekhyn A. In studying the composition of plant communities, generally accepted methods of geobotanical descriptions were used. When determining the species composition of the vegetation cover, "The determinant of higher plants of Ukraine" was used.

Scientific novelty. It has been established that for a long time certain biogeocenotic relations have developed between the elements of the technogenic modified landscape systems. Among them, coastal plant communities play an important role, which are still not well understood by researchers. It is determined that the composition of water is the form-making compo-

nent of the coastal vegetation cover of the objects under study. Physical and chemical analysis of the water from slurry storages has been carried out and a direct relationship has been revealed between the water indicators and the floristic structure of the coastal vegetation.

Practical significance. The results of the research allow to calculate the required degree of wastewater treatment of slurry dumps and are of practical importance for environmental engineers. These indicators allow the correct choice of wastewater treatment methods, taking into account plant communities, the degree of purification and the pH state of the water source. In technogenic conditions, the necessity of analysis of hydrobiological processes is especially intensified, which makes it possible to predict changes in the quality of water and the further condition of the existence of hydrobiota to prevent dangerous ecological consequences. An effective analysis is possible by applying the hydrochemical and bioindicative methods, which allow you to diagnose changes in the ecological state of the environment.

Results. The taxonomic, ecologic, biomorphological and geographical structures of plant communities of slurry storages of the Kryvyi Rih region are proposed; types of plant communities were formed according to the hydrochemical indicators of the composition of the water.

Keywords: slurry storage, water analysis, coastal vegetation, environmental assessment.

УДК 621.311.214

Сінчук І.О., Касаткіна І.В., Дозоренко О.В., Краснопольський Р.І. Новий погляд на вирішення проблеми підвищення енергоефективності водовідливних установок залізрудних підприємств

Мета. Оцінка можливостей та розробка аспектів теорії підвищення ефективності споживання електричної енергії в умовах вітчизняних залізрудних шахт шляхом використання гідроаккумуляторів на основі головних насосних установок. Для досягнення поставленої мети проаналізовані напрямки розширення кордонів функціонування головних насосних установок водовідливних систем залізрудних шахт з можливістю використання їх в режимі генераторів електричної енергії (міні гідроакмулюючих електростанцій), що дасть можливість підвищити електроенергоефективність даних видів підприємств. Це дозволить підприємствам споживати в години максимуму, коли енергія має максимальну ціну, значно менше електроенергії, що дозволить відповідно, знизити, приблизно на 20%, плату за електроенергію. Може бути також поліпшений режим роботи системи електропостачання: знижені втрати напруги і енергії, поліпшений коефіцієнт потужності.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач і аналізу прийнятих схемотехнічних та алгоритмічних рішень використані наступні методи дослідження: методи математичної статистики – для дослідження енергоспоживання водовідливних систем залізрудних шахт; методи розрахунку електричних кіл – для розрахунку потужності гідрогенераторної установки при перетворенні енергії перекачуваної води в електричну енергію.

Наукова новизна. Вперше оцінена техніко-економічна ефективність та запропоновано напрямок підвищення енергоефективного функціонування насосних установок водовідливних систем в умовах вітчизняних залізрудних шахт шляхом використання їх у зворотному гідро-аккумуляторному режимі і тим самим перетворення частини енергії технічної води в електричну енергію для живлення підземних споживачів.

Практична значимість. Застосування гідрогенераторів-аккумуляторів, які працюють разом з насосними установками шахт і кар'єрів дозволяє в години максимуму енергосистеми (ранкового і вечірнього) виробляти електроенергію за рахунок енергії води, що спускається з поверхні шахти (кар'єру), поповнюючи водозбірник.

Результати. Покращення ефективності роботи системи енергопостачання залізрудних шахт реструктуризувавши її зі структури централізованого в варіант структури електропостачання з розсередженою генерацією, що дозволить знизити витрати напруги та потужності, підвищити коефіцієнт потужності, а також знизити матеріальні затрати.

Ключові слова: водовідлив, шахта, гідро-аккумулятор, перетворення енергії, електроенергоефективність.

Синчук И.А., Касаткина И.В., Дозоренко А.В., Краснопольский Р.И. Новый взгляд на решение проблемы повышения энергоэффективности водоотливных установок железорудных предприятий

Цель. Оценка возможностей и разработка аспектов теории повышения эффективности потребления электрической энергии в условиях отечественных железорудных шахт путем использования гидроаккумуляторов на основе главных насосных установок. Для достижения поставленной цели проанализированы направления расширения границ функционирования главных насосных установок водоотливных систем железорудных шахт с возможностью использования их в режиме генераторов электрической энергии (мини гидроаккумулирующих электростанций), которые дадут возможность повысить электроэнергоэффективность данных видов предприятий. Это позволит предприятиям потреблять в часы максимума, когда энергия имеет максимальную цену, гораздо меньше электроэнергии, что позволит соответственно, снизить, приблизительно на 20%, плату за электроэнергию. Может быть также улучшен режим работы системы электроснабжения: снижены потери напряжения и энергии, улучшен коэффициент мощности.

Методы исследования. Для решения поставленных задач и анализа принятых схемотехнических и алгоритмических решений использованы следующие методы исследования: методы математической статистики – для исследования энергопотребления водоотливных систем железорудных шахт; методы расчета электрических цепей – для расчета мощности гидрогенераторной установки при превращении энергии перекачиваемой воды в электрическую энергию.

Научная новизна. Впервые оценена технико-экономическая эффективность и предложено направление повышения энергоэффективного функционирования насосных установок водоотливных систем в условиях отечественных железорудных шахт путем использования их в обратном гидро-аккумуляторном режиме и тем самым превращения части энергии технической воды в электрическую энергию для питания подземных потребителей.

Практическая значимость. Применение гидрогенераторов-аккумуляторов, которые работают вместе с насосными установками шахт и карьеров позволяет в часы максимума энергосистемы (утреннего и вечернего) производить электроэнергию за счет энергии воды, которая спускается с поверхности шахты (карьера), пополняя водосборник.

Результаты. Улучшение эффективности работы системы энергоснабжения железорудных шахт реструктуризировав ее из структуры централизованного в вариант структуры электроснабжения с рассредоточенной генерацией, которая

позволит снизить расходы напряжения и мощности, повысит коэффициент мощности, а также снизить материальные затраты.

Ключевые слова: водоотлив, шахта, гидро-аккумулятор, превращение энергии, энергоэффективность.

Sinchuk I.O., Kasatkina I.V., Dosorenko O.V., Krasnopolskyi R.I. A new approach to improve the energy efficiency of wastewater treatment of iron ore enterprises

Purpose. To provide possibilities and theoretical aspects of efficiency increase of electric energy consumption in the domestic iron ore mines by using hydraulic accumulators based on the main pumping units. To expand the functioning of the main pumping units of the drainage systems in mines by using the electric power generators (mini pumped storage power plants). This allow the enterprises to consume less electricity at peak hours, when energy has a maximum price, respectively, to reduce up to 20% the charge for electricity. The operation of the power supply system can also be improved: reducing the loss of voltage and energy ensures the power factor improved.

Research methods. The research methods are as follows: mathematical statistics methods for studying the energy consumption of the drainage systems in iron ore mines; methods for calculating electrical circuits - for calculating the power of a hydrogenerating unit for transformation of the pumped water energy into electrical energy.

Scientific novelty. Technical and economic efficiency and a direction to improve the energy-efficient operation of the pumping units of the drainage systems in mines by using them in the reverse hydro-battery mode and thereby converting part of the process water energy into electrical energy to power underground consumers.

Practical significance. The hydraulic accumulators, which operate in the row with the pumping units in mines/ pits, produce electricity during the hours of the maximum power system (morning and evening) due to the energy of water from the mine/pit surface to the catchment basin.

Results. Restructuring the power supply system in iron ore mines from a centralized structure into the power supply structure with distributed generation allow to reduce voltage and power costs, as well as to increase the power factor.

Keywords: drainage, mine, hydraulic accumulators, energy conversion, electric energy efficiency.

УДК [502.175:622.013]:622.012

Шолох М.В., Сергеева М.П. Моніторинг втрат і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин на гірничовидобувному підприємстві

Мета. Визначення, аналіз і оцінка точності втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у надрах на родовищах залізистих кварцитів Кривбасу.

Методи дослідження. Досліджено особливості комплексності і повноти використання всіх запасів (балансових і забалансових за вмістом якісних показників корисних копалин) і всіх різновидів і типів корисних копалин. Запропоновано варіант із меншими втратами балансово-промислових запасами залізистих кварцитів, який забезпечує виробничу потужність гірничовидобувного підприємства.

Наукова новизна. Визначення наслідків втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних копалин у залізрудній масі, так само як і показників вилучення мінливості вмісту якісних показників корисних компонентів у товарній залізрудній масі, значення має вибір методу, який найбільш повно відповідає тому або іншому виду корисних копалин. Втрати балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісних показників корисних компонентів у залізрудній масі враховують не тільки вміст якісних показників корисних копалин, які втрачаються і засмічують вміст якісних показників корисних копалин порід, але і де, на якому етапі гірничих робіт ці корисні копалини втрачаються і засмічуються.

Практична значимість. Оцінка середнього значення природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників у надрах і розпушеній залізрудній масі і розпушеній залізрудній масі базується як на дослідженні мінливості характеристики ознак, так і на аналізі геометричних характеристик блоків дільниць рудного тіла і покладу залізо-рудного родовища, так і параметрів розвідувальних мереж. Для регулярних мереж опробування вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і розпушеній залізрудній масі розрахунки коефіцієнтів проведені заздалегідь для типових конфігурацій взаємного розташування блоку і проб.

Результати. Точність результатів методів визначення впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників у надрах і залізрудній масі не суперечить теорії оптимальної статистичної оцінки. Доведено, що збиток з позицій комплексного освоєння надр і інших природних ресурсів складається із втрат балансово-промислових запасів у контурах розвіданих запасів і забалансових за вмістом якісних показників корисних копалин запасів, що залучаються при розробці запасів основних корисних копалин.

Ключові слова: моніторинг, запаси, блоки, об'ємно-якісні показники, втрати, засмічення.

Шолох М.В., Сергеева М.П. Мониторинг потерь и засорения содержания качественных показателей полезных ископаемых на горнодобывающем предприятии

Цель. Определение, анализ и оценка точности потерь балансовой промышленных запасов и засорения содержания качественных показателей полезных ископаемых в недрах на месторождениях железистых кварцитов Кривбасса.

Методы исследования. Исследованы особенности комплексности и полноты использования всех запасов (балансовых и забалансовых по содержанию качественных показателей полезных ископаемых) и всех видов и типов полезных ископаемых. Предложен вариант с меньшими потерями балансовой промышленных запасами железистых кварцитов, который обеспечивает производственную мощность горнодобывающего предприятия.

Научная новизна. Определение последствий потерь балансовой промышленных запасов и засорения содержания качественных показателей полезных ископаемых в железорудной массе, так же, как и показателей извлечения изменчивости содержания качественных показателей полезных компонентов в товарной железорудной массе значение имеет выбор метода, который наиболее полно соответствует тому или иному виду полезных ископаемых. Потери балансовой промышленных запасов и засорения содержания качественных показателей полезных компонентов в железорудной массе учитывают не только содержание качественных показателей полезных ископаемых, которые

теряются и засоряющих содержание качественных показателей полезных ископаемых пород, но и где, на каком этапе горных работ эти полезные ископаемые теряются и засоряются.

Практическая значимость. Оценка среднего значения природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей в недрах и взрыхленной железорудной массе и взрыхленной железорудной массе базируется как на исследовании изменчивости характеристики признаков, так и на анализе геометрических характеристик блоков участков рудного тела и залежи железорудного месторождения, так и параметров разведывательных сетей. Для регулярных сетей опробования содержания качественных показателей полезных ископаемых в недрах и взрыхленной железорудной массе расчеты коэффициентов проведены заранее для типовых конфигураций взаимного расположения блока и проб.

Результаты. Точность результатов методов определения влияния природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей в недрах и железорудной массе не противоречит теории оптимальной статистической оценки. Доказано, что ущерб с позиций комплексного освоения недр и других природных ресурсов состоит из потерь балансовой промышленной запасов в контуре разведанных запасов и забалансовых по содержанию качественных показателей полезных ископаемых запасов, привлекаемых при разработке запасов основных полезных ископаемых.

Ключевые слова: мониторинг, запасы, блоки, объемно-качественные показатели, потери, засорения.

Sholokh M.V., Sergieieva M.P. Monitoring of losses and debris content of quality indicators of minerals in the mining enterprise

Purpose. Determination, analysis and estimation of accuracy of losses of balance-industrial stocks and debris content of qualitative indices of minerals in the depths of deposits of ferruginous quartzites of Kryvbas are considered in the paper.

Research methods. The peculiarities of the complexity and completeness of the use of all stocks (balancing and off balance on the content of qualitative indices of minerals) and all types and types of minerals are investigated. The variant with less loss of balance-industrial reserves of ferruginous quartzite, which provides production capacity of a mining enterprise, is offered.

Scientific novelty. Determination of the consequences of losses of balancing industrial stocks and contamination of the content of qualitative indices of minerals in the iron ore mass, as well as indicators of removing the variability of the content of qualitative indicators of useful components in the commodity iron ore, the value has the choice of the method that most fully corresponds to one or another type of minerals. Loss of balance-industrial stocks and contamination of the content of qualitative indicators of useful components in iron ore take into account not only the content of qualitative indices of minerals, which are lost and polluting the content of qualitative indices of rock minerals, but also where, at which stage of mining these minerals are lost and clogged.

Practical significance. The estimation of the average value of the natural-spatial location of the variability of the content of the qualitative indicators in the bowels and the loose iron-ore mass and the loose iron ore mass is based both on the study of the variability of characteristics of the characteristics, and on the analysis of the geometric characteristics of the blocks of the ore body and deposits of the iron ore deposit and the parameters of the reconnaissance networks. For regular networks testing of the content of qualitative indices of minerals in the subsoil and loose iron ore mass, calculations of the coefficients are carried out in advance for typical configurations of the mutual arrangement of the block and samples.

Results. The accuracy of the results of methods for determining the influence of the natural-spatial location of the variability of the content of qualitative indicators in the bowels and iron ore does not contradict the theory of optimal statistical estimation. It is proved that the damage from the positions of integrated development of subsoil and other natural resources consists of the losses of balance-industrial stocks in the contours of proven reserves and off-balance sheet content of the qualitative mineral resources of stocks that are involved in the development of stocks of basic minerals.

Keywords: monitoring, stocks, blocks, volume-quality indicators, losses, litter.

УДК 621.926.23.001.2

Кляцкий В.И., Лопушан А.В. Повышение надежности и долговечности рабочих органов горно-обогажительного оборудования за счет совершенствования их конструкции

Цель работы. Разработка конструкции футеровочных броней, образующие оптимальный профиль камеры дробления, обеспечивающий повышение эффективности работы конусных дробилок.

Методы. В работе применены теоретические, статистические и экспериментальные методы исследований. Теоретические исследования выполнены с использованием аналитического метода с применением математического анализа ЭВМ. При построении математической модели расчета параметров профиля камеры дробления использованы методы теории вероятностей и математической статистики.

Научная новизна. Установлено, что в процессе эксплуатации профиль камеры дробления конусной дробилки мелкого дробления претерпевает существенные изменения вследствие неравномерного износа футеровки рабочих органов, закономерности которых необходимо учитывать при ее профилировании. Профиль камеры дробления оптимизирован решением изопериметрической вариационной задачи, с учетом износа броней, что обеспечивает ее неизменяемость в процессе эксплуатации дробилки. Получены аналитические выражения, описывающие профили конуса и чаши, в виде цепной линии – катеноиды, позволяющие выполнить конструирование футеровочных броней дробилок мелкого дробления. Установлены закономерности изменения формы и размеров камеры дробления конусных дробилок мелкого дробления. Разработан метод профилирования камеры дробления по критериям износа футеровочных броней.

Практическая значимость. Значение работы заключается в установлении закономерностей изменения формы и геометрических размеров рабочей камеры и разработке на этой основе расчетного метода ее оптимального профилирования, обеспечивающего повышения эффективности работы конусных дробилок, что является вкладом в теорию управления качеством горных машин в процессе эксплуатации. Предложены конструктивные параметры профиля камеры дробления конусной дробилки мелкого дробления, обеспечивающие увеличение производительности

на 15...20%, стабільне качество продукта дроблення в процесі експлуатації дробилки, рівномірний износ броней вдоль образуемых, неизменяемую геометрию на протяжении всего срока службы комплекта броней, увеличение износоустойчивости броней на 25...40%.

Результаты. Разработана методика расчёта оптимальных конструктивных параметров профиля камеры дробления конусной дробилки мелкого дробления может быть принята при проектировании нового дробильного оборудования. Разработана новая конструкция футеровочных броней.

Ключевые слова: конусная дробилка, брони, износ, камера дробления, профиль.

Кляцкий В.И., Лопушан А.В. Підвищення надійності та довговічності робочих органів гірничо-збагачувального обладнання за рахунок вдосконалення їх конструкції

Мета. Розробка конструкції футеровочних броней, що утворюють оптимальний профіль камери дроблення, що забезпечує підвищення ефективності роботи конусних дробарок.

Методи. В роботі застосовані теоретичні, статистичні та експериментальні методи досліджень. Теоретичні дослідження виконані з використанням аналітичного методу із застосуванням математичного аналізу ЕВМ. При побудові математичної моделі розрахунку параметрів профілю камери дроблення використані методи теорії мовірностей і математичної статистики.

Наукова новизна. Встановлено, що в процесі експлуатації профіль камери дроблення конусної дробарки дрібного дроблення зазнає суттєвих змін внаслідок нерівномірного зносу футеровок робочих органів, закономірності яких необхідно враховувати при її профілюванні. Профіль камери дроблення оптимізований рішенням ізопериметричної варіаційної задачі, з урахуванням зносу бронею, що забезпечує її незмінність в процесі експлуатації дробарки. Отримано аналітичні вирази, що описують профілі конуса і чаші, в вигляді ланцюгової лінії - катеноїд, що дозволяють виконати конструювання футеровочних бронею дробарок дрібного дроблення. Встановлено закономірності зміни форми і розмірів камери дроблення конусних дробарок дрібного дроблення. Розроблено метод профілювання камери дроблення за критеріями зносу футеровочних бронею.

Практична значимість. Значення роботи полягає у встановленні закономірностей зміни форми і геометричних розмірів робочої камери і розробці на цій основі розрахункового методу її оптимального профілювання, що забезпечує підвищення ефективності роботи конусних дробарок, що є внеском в теорію управління якістю гірських машин в процесі експлуатації. Запропоновано конструктивні параметри профілю камери дроблення конусної дробарки дрібного дроблення, що забезпечують збільшення продуктивності на 15 ... 20%, стабільну якість продукту дроблення в процесі експлуатації дробарки, рівномірний знос бронею уздовж утворюють, незмінну геометрію протягом усього терміну служби комплекту бронею, збільшення зносостійкості бронею на 25 ... 40%.

Результати. Розроблена методика розрахунку оптимальних конструктивних параметрів профілю камери дроблення конусної дробарки дрібного дроблення може бути прийнята при проектуванні нового дробильного обладнання. Розроблено нову конструкцію футеровочних броней.

Ключові слова: конусна дробарка, броні, знос, камера дроблення, профіль

Kliatskyi V.I., Lopushan A.V. Improving the reliability and durability of the working bodies of mining and concentrating equipment by improving their design

Purpose. To design a lining armor, which forms the optimal profile of chamber crushing and ensures the efficiency of the operation of cone crushers.

Research methods. Theoretical, statistical and experimental methods were used in this work. The theoretical study was carried out using an analytical method using computer-aided mathematical analysis. Probability theory and mathematical statistical methods were used during creating a mathematical model of the crushing chamber profile.

Scientific novelty. It is shown that the crushing chamber undergoes significant changes during the operation of the cone crusher for fine crushing, due to the irregular wearing of lining for working elements whose patterns should be taken into considered during its profiling. The profile was optimized with an isoperimetric variational problem with regard to the wear of armour solutions that provides its longevity during the operation of the crusher. The results provided analytical expressions, which describe the profile of the cone and bowl as a chain catenoid line for designing lining armour for cone crusher for fine crushing. Are presented a number of regularities of shape and size changing cone crusher chamber of cone crusher for fine crushing, which is aimed at the reduction of feed hopper size for «КМДТ-2200» by 1.3-1.6 times.

Practical value. The significance of the work is: to establish patterns of changing in shape and geometrical sizes of the chamber; to develop optimal profiling based on the calculation method, which provides enhancements to the efficiency of cone crushers, and which is a contribution to the theory of quality management of mining machines during operation. Constructional parameters of the crushing chamber profile of a cone crusher for fine crushing were suggested. It provides an increase in productivity by 15-20%, stable quality of the crushing product during crusher operation, uniform wear and tear of the armour along the forming, unchangeable geometry throughout the service life of the set of armour that increases the wear resistance of the armour by 25-40%.

Results. A method for calculating the optimal design parameters of the crushing chamber profile of a cone crusher for fine crushing is developed, which can be adopted when designing new crushing wear and tear equipment. New construction of lining armour is developed.

Keywords: cone crusher, armour, wear of crushing chamber, profile

Збірник наукових праць

В і с н и к
Криворізького національного університету

Випуск 48

Редактор, коректор
Комп'ютерний набір, верстка

Наумова Н.В.
Підпригора Н.П.

Здано в набір 19.04.19. Підписано до друку 26.04.19 за рекомендацією Вченої Ради
ДВНЗ «Криворізький національний університет», протокол № 9 від 23.04.2019 року

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

Замовл. № 5. Укр., рос.,англ.

Надруковано:

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

Адреса видавництва:

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

*ДВНЗ «Криворізький національний університет»
2019. Вип. 48, С. 3-222*