

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет

Вісник
Криворізького національного
університету

Збірник наукових праць

Випуск 53

Кривий Ріг 2021

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 Ніколае**, 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.; **Перегудов 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 № 53 рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет Вченою радою Криворізького національного університету (протокол № 4 від 30.11.2021 року).

Адреса редакції: Криворізький національний університет
вул. Пушкіна, 44, Кривий Ріг, 50002,
Тел. (056) 409 61 29
web-сайт <http://visnykknu.com.ua>

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

<i>В. С. Моркун, Н. В. Моркун, В. В. Тронь, А. А. Гапоненко, І. А. Гапоненко, О. Ю. Сердюк</i> Оперативне розпізнавання геолого-мінералогічних різновидів гірських порід на основі ультразвукових вимірювань	3
<i>О.В. Солодянкін, В.Г. Шаповал, С.М. Гапеев, К.В. Кравченко, О.А. Солодянкін</i> Комплексна оцінка впливу геомеханічних та технологічних факторів на інтенсифікацію деформаційних процесів в масиві порід навколо протяжних виробок	9
<i>М. В. Тимофеев, Г. В. Шамріна</i> Методика визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару в конструкції зовнішньої стіни	16
<i>Є.С. Руднєв, В.А. Гальченко, Е.М. Філатьева, М.І. Антощенко</i> Сірка у вкопному вугіллі як фактор прояву небезпечних властивостей шахтопластів	21
<i>О.С. Воденнікова, Л.В. Воденнікова, Д.Ю. Бабошко, П.В. Головков</i> Позадоменна десульфурація чавуну: теоретичні основи, сучасні технології та аналітично-розрахункова обробка показників десульфурації	28
<i>В.В. Яцун, О.Д. Почужевський, В.Ю. Тищенко</i> Імітаційне моделювання роботи вібраційного грохота, що працює в резонансному режимі	35
<i>О.М. Сінчук, Т.М. Берідзе, І.О. Сінчук, Ю.Б. Філіпп</i> Зasadничі імперативи сутності аналізу енергоємності видобутку залізорудної сировини на підземних підприємствах Кривбасу	40
<i>В.В. Єжов, В.М. Рясний, І.А. Євстратенко, З.Р. Маланчук, С.М. Чухарев</i> Стан аварійності на підприємствах гірничодобувної галузі України	47
<i>В. С. Моркун, Н. В. Моркун, В. В. Тронь, О. Ю. Сердюк, А. А. Гапоненко, І. А. Гапоненко</i> Формування інформаційної бази для управління процесом осадження часток твердої фази рудної пульпи у дешламаторі	53
<i>О.С. Воденнікова, Л.В. Воденнікова, І.Е. Скідін, Л.Н. Сайгареев, П.В. Головков</i> Позадоменна десульфурація чавуну: вибір раціональної технології та аналітично-розрахункова обробка показників десульфурації	57
<i>І. А. Маринич, О. Ю. Сердюк</i> Модель системи автоматичного керування компресорною установкою з стабілізацією тиску у повітряній магістралі	64
<i>І.І. Максимов, Т.М. Ковальчук, В.А. Ковальчук</i> Особливості підготовки здобувачів спеціальності «Гірництво» через систему професійно-орієнтованих математичних задач	70
<i>В.В. Суртаєв</i> Параметри роботи теплоутилізаційних установок, пристрою та системи утилізації теплоти парогазових викидів з тепловими	76
<i>А.А. Турило, С.А. Ртищев</i> Сутність категорії «економічний розвиток»	85
<i>А.О. Хруцький, Ю.Г. Горбачов, В.А. Громадський, Вікт.А. Громадський, Ю.І. Чумак</i> Дослідження шляхів реалізації віртуального лабораторного практикуму при підготовці фахівців з галузевого машинобудування	90
<i>С.О. Жуков, С.А. Харін, Ю.С. Папіж, В.В. Юденко, О.В. Коровіна</i> Ресурсно-управлінський аспект декарбонізації енергетики як прогресуючий тренд світової економіки	96
<i>V.I. Pakhotov, I.V. Hirin, Yu.A. Monastyrskiy, V.Yu. Tyshchenko</i> Rational profile for career roads	102
<i>О.В. Замицький, О.В. Лыченко</i> Дослідження сучасних методів охолодження стисненого повітря в турбокомпресорах	107
<i>N.O. Karabut, O.H. Rybalchenko, I.O. Dotsenko</i> Protection technology of data processed in distributed information systems	112
<i>О.М. Сінчук, А.І. Купін, І.О. Сінчук, М.Л. Барановська, К.І. Будніков</i> До розробки алгоритму енергоефективного керування електроенергетичним комплексом з розділеною генерацією електричної енергії в умовах залізрудних шахт	118
<i>О.В. Замицький, С.О. Крадожон</i> Методика розрахунку конструктивних та технологічних параметрів установки для комбінованої сушки продуктів збагачення прямим впливом змінного електричного струму	126
<i>Д.Ю. Малих, Д.А. Титов, Г.І. Єременко</i> Енергетично-конструктивна аналітика адаптації мереж свердловинних зарядів до підривання масивів складної структури	131
<i>Л.І. Єфіменко, М.П. Тиханський, А.М. Тиханська</i> Адаптивні системи керування швидкістю стрічкового конвеєра за критерієм зниження металоємності опорних конструкцій	136
<i>В.А. Чубенко, Т.П. Ярош, А.А. Хіноцька</i> Дослідження внутрішньої структури металу в процесах прокатування металовиробів	140
<i>О. Є. Куліковська, В.О. Катушков</i> Геодезія, картографія та кадастр в Японії	144
<i>А.М. Ялова, Н.В. Бондар</i> Вплив шлакування та забруднення поверхонь нагріву на надійність роботи твердопаливних котлів на ТЕС	151
<i>А.М. Турило</i> Інтелектуальний і людський капітал в умовах інформаційно-інноваційної економіки – ключовий чинник адаптації і економічної безпеки підприємства	157
<i>D.V. Shvets</i> Iron ore grinding process at the concentrating plant under fuzzy and incomplete parameters	163
АНОТАЦІЇ ..	
<i>А н о т а ц і ї</i>	170

УДК 622.7: 534

В. С. МОРКУН, Н. В. МОРКУН, доктори техн. наук, професори,
В. В. ТРОНЬ, канд. техн. наук, доц., А. А. ГАПОНЕНКО,
І. А. ГАПОНЕНКО, наукові співробітники, О. Ю. СЕРДЮК, асист.
Криворізький національний університет

ОПЕРАТИВНЕ РОЗПІЗНАВАННЯ ГЕОЛОГО-МІНЕРАЛОГІЧНИХ РІЗНОВИДІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД НА ОСНОВІ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИМІРЮВАНЬ

Метою дослідження є підвищення точності ультразвукового каротажу для визначення фізико-механічних і хіміко-мінералогічних характеристик гірської породи на основі значень швидкості поширення поздовжніх і поперечних хвиль, коефіцієнту загасання ультразвуку на основній частоті та вищих гармоніках, а також співвідношення цих параметрів.

Методи дослідження. Метод визначення геолого-мінералогічних різновидів гірських порід на основі оцінки змін швидкості поширення поздовжніх та поперечних об'ємних ультразвукових хвиль, співвідношення цих величин у контрольованому середовищі, а також параметр, що характеризує ступінь нелінійності цього процесу – величину загасання ультразвуку на основній та вищих гармоніках.

Наукова новизна. Встановлено, що для ідентифікації геолого-мінералогічних різновидів залізородної сировини можуть бути використані оцінки змін швидкості поширення поздовжніх та поперечних об'ємних ультразвукових хвиль, співвідношення цих величин у контрольованому середовищі, а також параметр, що характеризує ступінь нелінійності цього процесу – величину загасання ультразвуку на основній і вищих гармоніках.

Практичне значення. Результати виконаних досліджень показали, що найбільш ефективним для вирішення поставленої задачі виявився метод Fuzzy C-Shape, за допомогою якого ідентифіковано геолого-мінералогічні різновиди залізородної сировини із вірогідністю 0,91%.

Результати. У гірських породах швидкості поширення пружних хвиль змінюються в широкому діапазоні і залежать від фізичних властивостей, структури, текстури, стану та інших внутрішніх і зовнішніх факторів. Швидкості поздовжніх та поперечних ультразвукових хвиль у гірських породах визначаються їх пружними характеристиками: швидкість поздовжніх хвиль зростає зі збільшенням модуля Юнга і коефіцієнта Пуассона. Швидкість поширення пружних хвиль в гірських породах визначається їх пружними властивостями та густиною. Ця швидкість практично не залежить від довжини хвилі, що дозволяє використовувати для досліджень хвилі з будь-якими частотами коливань.

Пропонований метод на основі результатів ультразвукових вимірювань характеристик гірських порід і нечіткого логічного висновку дозволяє з високим ступенем точності ідентифікувати мінералого-технологічні різновиди руди в гірському масиві в початковій стадії технологічного процесу її видобутку і переробки, порівняти їх відповідного технологічного регламенту, а також технологічних агрегатів і тим самим забезпечує досягнення заданих показників гірничозбагачувального переділу з урахуванням вимог охорони навколишнього середовища та енергоефективності.

Ключові слова: геолого-мінералогічні різновиди, гірська порода, ультразвукові вимірювання, каротаж свердловин.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-3-9

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Балансові запаси залізної руди в Україні становлять понад 30 млрд. т, що забезпечить роботу підприємств гірничо-металургійної галузі ще приблизно століття. З десяти найбільших залізородних підприємств України сім розташовані в Криворізькому регіоні і забезпечують більше 90% потреб металургійних підприємств України у сировині [1,2].

У цілому залізні руди представлені трьома основними різновидами [3]: багаті мартикові, залістисті кварцити і бурі залізнякаи. Залістисті кварцити, які є основним резервом розвитку сировинної бази Криворізького басейну, відносяться до скелюватської геолого-промислового типу. Залежно від наявності тих чи інших шарів, магнетитові залістисті кварцити поділяються на ряд різновидів, кожен з яких має різну технологічну цінність: магнетитові кварцити, які майже не містять силікатів і карбонатів; силікатно-магнетитові кварцити, що мають певну кількість силікатних шарів; гематит-залізослюдково-магнетитові кварцити, що мають певну кількість гематитові шарів; магнетит-силікатні кварцити, що мають певну кількість магнетитових шарів, бідні кварцити, що знаходяться на межі промислового значення; карбонат-магнетитові кварцити; силікат-карбонат, або карбонат-силікатні магнетитові кварцити.

Ефективність роботи гірничодобувних та гірничопереробних підприємств залежить від того наскільки точно і своєчасно вони отримують інформацію стосовно геолого-мінералогічних

різновидів залізорудної сировини, яка видобувається чи поступає на переробку. Для отримання інформації про геолого-мінералогічні різновиди залізорудної сировини застосовують методи геофізичних досліджень із застосуванням різноманітних вимірювань властивостей гірських порід, а також використовується супутні дані, які отримуються в процесі виконання різноманітних технологічних операцій, наприклад при бурінні свердловин.

Аналіз досліджень і публікацій. У дослідженнях [4, 5] запропоновано підхід до статичної оптимізації процесів буріння у контексті видобутку і перероблення руди, проте недостатньо уваги приділено динамічним процесам, що виникають безпосередньо у процесі буріння свердловини. У праці [6] вказано, що достатнім динамічним показником, що характеризує властивості породи, є механічна швидкість буріння. Недоліком такого підходу є те, що в умовах складної геологічної структури залізорудних родовищ даного показника недостатньо і потрібен аналіз більшого числа змінних, що підтверджують результати досліджень [7, 8].

Визначати тип породи у процесі буріння за двома показниками: є механічна швидкість буріння і крутний момент закупінропоновано у роботі [8]. Недоліком такого підходу те, що досягнення необхідної точності розпізнавання різновид породи можливе в умовах бінарної геологічної структури, оскільки вказані параметри достатньо точно вказують на гомогенність і міцність гірської породи. За наявності декількох мінералого-технологічних різновидів застосування даного підходу буде ускладненим.

У праці [9] для моніторингу процесу буріння використано такі параметри: горизонтальні і вертикальні вібрації, осьовий тиск, крутний момент, швидкість буріння, швидкість обертання тощо. Недоліком даного підходу можна вважати те, що у переліку контрольованих параметрів наявні лише параметри бурової установки і не здійснюється пряме чи непряме вимірювання характеристик породи, що буриться. Аналогічний підхід використано у роботі [10] для розпізнавання тернарної геологічної структури – з наявністю трьох різновидів породи, що буриться. Однак, як і у попередній роботі розпізнавання різновидів породи головним чином здійснювалось за одним показником (міцністю) та за параметрами бурильної установки без вимірювання характеристик самої породи.

Перспективним напрямком щодо оперативного визначення геолого-мінералогічних різновидів залізорудної сировини є ультразвукові вимірювання. Ультразвуковий каротаж заснований на використанні параметрів розповсюдження пружних хвиль в досліджуваному середовищі для визначення його фізико-механічних і хіміко-мінералогічних характеристик [11,12]. Акустичні хвилі в твердих тілах можна розділити на об'ємні, поверхневі, хвилеводні і каналізовані. Об'ємні акустичні хвилі поширюються у всьому об'єму твердого тіла. Однією з ознак, за яким їх розрізняють між собою, є форма фронту хвилі [13,14]. Вони бувають плоскими, сферичними, циліндричними тощо. Іншою ознакою служить напрямок вектору зсуву часток середовища, за цією ознакою розрізняють об'ємні, поздовжні і об'ємні поперечні хвилі. Поверхневі акустичні хвилі поширюються поблизу вільної поверхні твердого тіла або поблизу поверхні розділу двох різних середовищ [15]. Їх фазова швидкість направлена паралельно цій поверхні, а інтенсивність швидко зменшується з глибиною проникнення в об'єм твердого тіла. Хвилеводні акустичні хвилі можуть існувати в стрижнях і тонких шарах, як в хвилеводах, а каналізовані - у виступах або канавках різного профілю на поверхні твердого тіла - як у каналах.

Постановка завдання. Метою виконаних досліджень є підвищення точності ультразвукового каротажу для визначення фізико-механічних і хіміко-мінералогічних характеристик гірської породи на основі значень швидкості поширення поздовжніх і поперечних хвиль, коефіцієнту загасання ультразвуку на основній частоті та вищих гармоніках, а також співвідношення цих параметрів.

Викладення матеріалу і результати. Розглянемо метод визначення геолого-мінералогічних різновидів гірських порід на основі оцінки змін швидкості поширення поздовжніх та поперечних об'ємних ультразвукових хвиль, співвідношення цих величин у контрольованому середовищі, а також параметр, що характеризує ступінь нелінійності цього процесу – величину загасання ультразвуку на основній та вищих гармоніках.

У гірських породах швидкості поширення пружних хвиль змінюються в широкому діапазоні і залежать від фізичних властивостей, структури, текстури, стану та інших внутрішніх і зовнішніх факторів. Визначити швидкості поширення пружних хвиль в необмеженому пруж-

ному середовищі можна за формулами, виведеним з хвильових рівнянь [16,17]. Швидкість поздовжньої хвилі в масиві

$$V_p = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1)$$

де ρ – густина середовища, E – модуль Юнга, ν – коефіцієнт Пуассона.

Швидкість поширення поперечної хвилі

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{2(1+\nu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (2)$$

де G – модуль зсуву.

Відношення швидкості поздовжніх хвиль до швидкості поперечних є функцією тільки коефіцієнта Пуассона гірської породи

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{2 \cdot \frac{1-\nu}{1-2\nu}} \quad (3)$$

Швидкості поширення пружних хвиль у породах суттєво змінюються в залежності від мінерального складу, густини, пористості, зернистості і інших параметрів. Їх значення збільшуються від кислих інтрузивних порід до основних і ультраосновних. У вивержених порід помітно зменшення значень швидкостей поширення пружних хвиль із збільшенням вмісту SiO_2 . У породах основного складу швидкості поздовжніх хвиль в інтрузивних зразках в середньому на 20% вище, ніж в ефузивних. З підвищенням кислотності ця різниця зменшується. У швидкостей поширення поперечних хвиль такий зв'язок не спостерігається [18,19]. Значення швидкостей поширення поздовжніх і поперечних пружних хвиль для магматичних і метаморфічних порід лінійно пов'язані з густиною. Для осадових порід такі закономірності не встановлені. Значення швидкостей пружних хвиль змінюються у зв'язку з варіаціями структурно-текстурних характеристик порід в різних місцях відбору проб для випробувань. Так, коефіцієнт варіації швидкостей поздовжніх хвиль у порід, взятих з одного родовища, складає: у глин до 40%, у вапняків і доломіту до 25%. Розподіл значень швидкостей пружних хвиль у більшості магматичних і метаморфічних порід підпорядковується нормальному закону [19,20].

У табл. 1 наведені статистичні характеристики пружних якостей найбільш поширених гірських порід та швидкостей розповсюдження в них ультразвукових хвиль.

Таблиця 1

Статистичні характеристики пружних якостей найбільш поширених гірських порід та швидкості розповсюдження в них ультразвукових хвиль

Parameters	Min	Max	Mean	Median	Variance	Standard Deviation
C_L , m/s	4450,0000	6320,0000	5562,2222	5930,0000	556094,4444	745,7174
C_T , m/s	2780,0000	3370,0000	3123,3333	3140,0000	40175,0000	200,4370
ρ , g/cm ³	2,5200	2,9600	2,7211	2,7000	0,0187	0,1366
E , kg/mm ²	4870,0000	8770,0000	6833,3333	7240,0000	1625825,0000	1275,0784
μ , kg/mm ²	2060,0000	3340,0000	2706,6667	2760,0000	178600,0000	422,6109
σ	0,1800	0,3200	0,2582	0,3050	0,0040	0,0636

Швидкості поздовжніх та поперечних ультразвукових хвиль у гірських породах визначаються їх пружними характеристиками (рис. 1 та 2): швидкість поздовжніх хвиль зростає зі збільшенням модуля Юнга і коефіцієнта Пуассона; зміна коефіцієнта Пуассона від 0,1 до 0,4 збільшує швидкість поздовжньої хвилі приблизно на 45%; швидкість поперечних хвиль зі збільшенням модуля Юнга зростає, але зменшується з ростом коефіцієнта Пуассона.

Таким чином, швидкість поширення пружних хвиль в гірських породах визначається їх пружними властивостями та густиною. Ця швидкість практично не залежить від довжини хвилі, що дозволяє використовувати для досліджень хвилі з будь-якими частотами коливань.

На відміну від швидкості поширення пружних хвиль, фізична дисперсія яких у більшості порід практично відсутня, коефіцієнт загасання визначається частотою пружних коливань. У широкому діапазоні частот – від 1 Гц до 10 МГц коефіцієнт загасання a у різних гірських порід змінюється від $1 \cdot 10^{-8}$ до $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^{-1}$. Декремент загасання в цьому ж діапазоні частот у середньому змінюється від $1 \cdot 10^{-2}$ до 1,0.

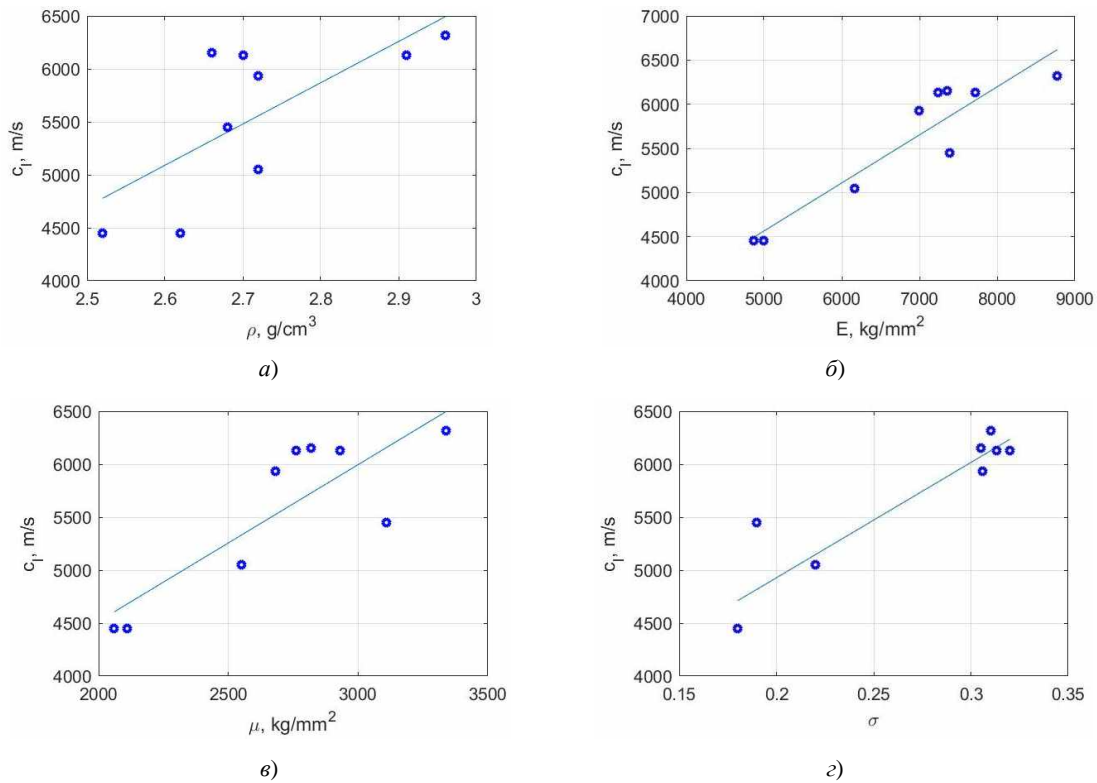


Рис. 1. Залежність швидкості поздовжніх ультразвукових хвиль від характеристик гірських порід

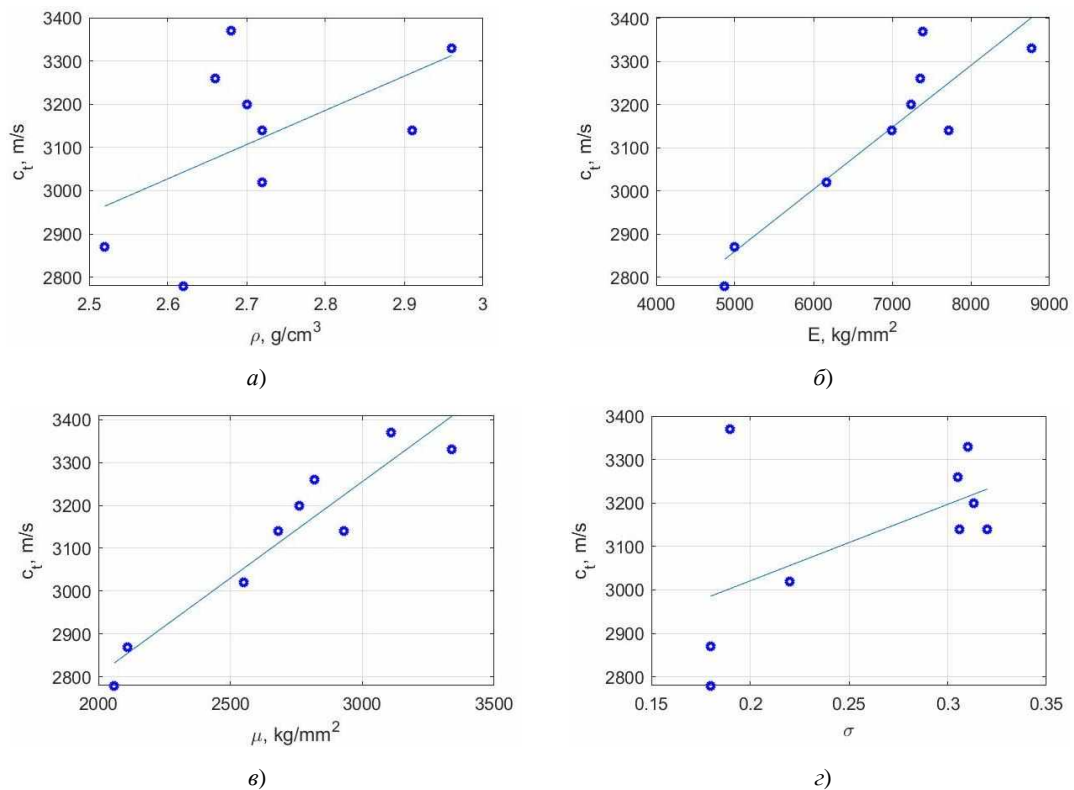


Рис. 2. Залежність швидкості поперечних ультразвукових хвиль від характеристик гірських порід

Коефіцієнт загасання збільшується зі зростанням частоти. Однак чітко вираженої однозначної функціональної залежності загасання від частоти для порід не встановлено. Наприклад, у гранітів у інтервалі частот від 10 до 1000 кГц найкраща апроксимація спостерігається при описі частотної залежності квадратичною функцією $\alpha = m f^2$, де m - коефіцієнт пропорційності. У габро-діабазів, кварцитів, граніто-гнейсів, піщаників, сланців і інших порід частотна залежність в

інтервалі від 500 до 5000 кГц підкоряється закону $\alpha = A_1 f + A_2 f^2$. Така залежність спостерігається як для поздовжніх, так і для поперечних хвиль [17].

У табл. 2 наведено статистичні характеристики пружних якостей найбільш поширених гірських порід та згасання в них ультразвукових хвиль.

Таблиця 2

Статистичні характеристики пружних якостей найбільш поширених гірських порід, швидкості розповсюдження та згасання в них ультразвукових хвиль

Parameters	Min	Max	Mean	Median	Variance	Standard Deviation
a , dB/m	4,0000	71,0000	35,6250	35,5000	563,1250	23,7303
C_L , m/s	4144,0000	5714,0000	4768,8750	4620,0000	401339,5536	633,5137
C_T , m/s	2343,0000	2857,0000	2652,6250	2731,0000	40868,5536	202,1597
ρ , g/cm ³	2600,0000	3055,0000	2753,5000	2705,0000	25693,4286	160,2917
E , kg/mm ²	34,4400	59,8700	47,7438	47,9350	97,2451	9,8613
σ	0,1500	0,3300	0,2588	0,2650	0,0036	0,0601

У табл. 3 зведено результати розрахунків кореляційних зв'язків основних параметрів процесу розповсюдження ультразвукових хвиль в гірських породах з урахуванням згасання.

Таблиця 3

Кореляційні зв'язки основних параметрів процесу розповсюдження ультразвукових хвиль у гірських породах з урахуванням згасання

Parameters	a , dB/m	C_L/C_T	C_L , m/s	C_T , m/s	ρ , g/cm ³	E , kg/mm ²	σ
a , dB/m	1,0000	0,0200	0,1905	0,3328	0,5132	0,3582	-0,1356
C_L/C_T	0,0200	1,0000	0,8379	0,2815	0,6962	0,6273	0,9732
C_L , m/s	0,1905	0,8379	1,0000	0,7591	0,6393	0,9130	0,7743
C_T , m/s	0,3328	0,2815	0,7591	1,0000	0,3105	0,8623	0,2014
ρ , g/cm ³	0,5132	0,6962	0,6393	0,3105	1,0000	0,6514	0,6670
E , kg/mm ²	0,3582	0,6273	0,9130	0,8623	0,6514	1,0000	0,5697
σ	-0,1356	0,9732	0,7743	0,2014	0,6670	0,5697	1,0000

У кристалічних порід коефіцієнт загасання поперечних хвиль зазвичай дорівнює коефіцієнту загасання поздовжніх хвиль або приблизно в 1,5-2 рази перевищує його. У вологих глин і водонасичених пісків спостерігається значна різниця в коефіцієнтах згасання поперечних і поздовжніх хвиль (до 5 і більше) [17]. Слід зазначити, що у випадку коли швидкості поширення пружних хвиль у багатьох міцних монолітних породах змінюються на 40-60% – їх коефіцієнти загасання змінюються у 2-4 рази. Отже, це свідчить про те, що коефіцієнт загасання пружних хвиль є більш чутливим параметром для якісної характеристики гірських порід, ніж швидкість ультразвуку. Разом з тим цей фактор призводить до залежності загасання ультразвукових коливань, які розповсюджуються у досліджуваному середовищі, від різноманітних збурюючих факторів, таких, як зміни чи порушення його структури.

Проаналізуємо характеристики 7-ми типів руд, які видобуваються та надходять на переробку з одного із родовищ Криворізького залізородного басейну (табл. 4). У табл. 4 цьому прийнято такі позначення типів руд [3,14]: 1 – магнетитові роговики; 2 – силікат-карбонат-магнетитові роговики; 3 – червоносмугасті магнетитові та гематит-магнетитові роговики; 4 – напівокислені та окислені роговики; 5 – силікатні сланці, безрудні роговики та кварці; 6 – магнетит-силікат-карбонатні (бідні) роговики; 7 – гематит-магнетитові роговики.

Таблиця 4

Результати аналізу різновидів руд

Різновид	Кварц, %	Магнетит, %	Мартит, %	Гематит, %	Сидерит, %	Густина, кг/м ³
1	63,7	30,9	0	1,4	3,8	3431
2	68,4	21,7	0	0,4	9,1	3248
3	64,5	30,2	0	1,5	3,8	3414
4	65,4	24,4	3,3	3,7	3,2	3412
5	74,6	4,5	0	0,7	20,2	2989
6	75,2	6,8	0	0,8	17,2	3009
7	60,8	31,4	0	5,4	2,5	3530

Дані, які застосовуються для ідентифікації мінералого-технологічних різновидів залізної руди методами чіткої і нечіткої кластеризації є спостереженнями фізичного процесу розповсюдження ультразвукових хвиль у досліджуваному середовищі. Кожне спостереження складається з n вимірних змінних, згрупованих у n -вимірний вектор-рядок

$$x_k = [x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kn}]^T, x_k \in R^n. \quad (4)$$

Набір N спостережень позначають

$$X = \{x_k | k = 1, 2, \dots, N\}, \quad (5)$$

і представляють у вигляді матриці $N \times n$

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{N1} & \dots & x_{Nn} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Досліджувались методи чіткої кластеризації K-Means та K-Medoid; нечіткий алгоритм Fuzzy C-Means; метод Густафсона-Кесселя - розширений стандартний алгоритм нечітких C-means, який використовує адаптивну норму відстані; метод Гаса-Гева - алгоритм кластеризації нечіткого максимуму правдоподібностей, який використовує норму відстані на основі нечітких оцінок максимальної правдоподібності; метод Fuzzy C-Shape, який замінює норму внутрішнього добутку в моделі Fuzzy C-Means функцією відстані на основі форми. Результати виконаних досліджень показали, що найбільш ефективним для вирішення поставленої задачі виявився метод Fuzzy C-Shape, за допомогою якого ідентифіковано геолого-мінералогічні різновиди залізородної сировини із вірогідністю 0,91%.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Встановлено, що для ідентифікації геолого-мінералогічних різновидів залізородної сировини можуть бути використані оцінки змін швидкості поширення поздовжніх та поперечних об'ємних ультразвукових хвиль, співвідношення цих величин у контрольованому середовищі, а також параметр, що характеризує ступінь нелінійності цього процесу – величину загасання ультразвуку на основній і вищих гармоніках.

Пропонований метод на основі результатів ультразвукових вимірювань характеристик гірських порід і нечіткого логічного висновку дозволяє з високим ступенем точності ідентифікувати мінералого-технологічні різновиди руди в гірському масиві в початковій стадії технологічного процесу її видобутку і переробки, порівняти їх відповідного технологічного регламенту, а також технологічних агрегатів і тим самим забезпечує досягнення заданих показників гірничозбагачувального переділу з урахуванням вимог охорони навколишнього середовища та енергоефективності.

Шляхом порівняльного аналізу різних алгоритмів точної та нечіткої кластеризації встановлено, що найкращі результати, з точки зору точності та ефективності, забезпечує метод Fuzzy C-Shape, який замінює норму внутрішнього добутку у моделі FCM функцією відстані на основі форми.

Список літератури

1. Stupnik M., Kalinichenko V., Pysmennyi S., Kalinichenko O., Fedko M. Method of simulating rock mass stability in laboratory conditions using equivalent materials, Mining of Mineral Deposits. 2016. Vol. 10.3. pp 46–51. doi: 10.15407/mining10.03.046.
2. Stupnik M., Kalinichenko O., Kalinichenko V., Pysmennyi S., Morhun O. Choice and substantiation of stable crown shapes in deep-level iron ore mining, Mining of Mineral Deposits. Vol. 12.4. pp 56–62. doi: 10.15407/mining12.04.056.
3. Pysmennyi S., Shvager N., Shepel O., Kovbyk K., Dolgikh O. Development of resource-saving technology when mining ore bodies by blocks under rock pressure, E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 166. 02006. doi: 10.1051/e3sconf/202016602006.
4. Bowa V. M. Optimization of blasting design parameters on open pit bench a case study of Nchanga open pits, International journal of scientific & technology research. 2015. Vol. 4.9 (2015) 45-51.
5. Pan X. Optimization of mineral processing plant through ROM ore size, AGH Journal of Mining and Geoenvironment. 2012. Vol. 36.4. pp 123-132.
6. Yue Z.Q., Lee C.F., Law K.T., Lam L.G. Automatic monitoring of rotary percussive drilling for ground characterization, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 2015. Vol. 41. pp 573–612.
7. Schunnesson H. Rock characterisation using percussive drilling, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 2014. Vol. 35.6. pp 711–725.
8. Schunnesson H., Holme K. Drill monitoring for geological mine planning in the Viscaria copper mine Sweden, CIM Bulletin. 2015. Vol. 90.1030. pp 82-89.
9. Beattie N. Monitoring-while-drilling for open-pit mining in a hard rock environment: Master's thesis. Kingston. Queen's University. 2012. 127 p.

10. **Martin J.** Application of Pattern Recognition Techniques to Monitoring-While-Drilling on a Rotary Electric Blast Hole Drill at an Open-Pit Coal Mine, Master's thesis, Queen's University, Kingston, 2013.
11. **Scoble M., Peck J., J., Hendricks C.** Correlation between rotary drill performance parameters and borehole geophysical logging, *Mining Science and Technology*. 2012. Vol. 8. pp 301-312.
12. **Segui J. B., Higgins M.** Blast design using measurement while drilling parameters, *Fragblast: International Journal for Blasting and Fragmentation*. 2012. Vol. 6.3–4. pp 287–299.
13. **Morkun V., Morkun N., Tron V.** Identification of control systems for ore-processing industry aggregates based on nonparametric kernel estimators, *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7.1. pp 14-17.
14. **Morkun V., Tron V.** Automation of iron ore raw materials beneficiation with the operational recognition of its varieties in process streams, *Metallurgical and Mining Industry*. 2014. Vol. 6.6. pp 4 7.
15. **Morkun V., Morkun N., Pikilnyak A.** The adaptive control for intensity of ultrasonic influence on iron ore pulp, *Metallurgical and Mining Industry*. 2014. Vol. 6.6. pp 8-11.
16. **Gao L., Zhang W., Lu W., Hu X., Wu H., Wang J., Kong B.** Study on the effects of temperature and immersion on the acoustic emission and electromagnetic radiation signals of coal rock damage under load, *Engineering Geology*. 2022. Vol. 297. 106503. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106503>.
17. **Шульгин П. Н.** Физика горных пород. Акустические свойства горных пород. ДОДСТУ, 2018. 67 с.
18. **Kou X., Pei C., Chen Z.** Fully noncontact inspection of closed surface crack with nonlinear laser ultrasonic testing method, *Ultrasonics*. 2021. Vol. 114. 106426. doi: 10.1016/j.ultras.2021.106426.
19. Акустические свойства горных пород. URL: <http://ctcmetar.ru/volnovye-processy/9297-akusticheskie-svoystva-gornyh-porod.html> (дата звернення: 15.12.2021).
20. Акустический каротаж по скорости. URL: <http://fccland.ru/dobycha-nefti/6826-akusticheskiy-karotazh-po-skorosti.html> (дата звернення: 15.12.2021).

УДК 622.831

О.В. СОЛОДЯНКІН, В.Г. ШАПОВАЛ, доктори техн. наук, професори,
С.М. ГАПЄЄВ, д-р техн. наук, доц., К.В. КРАВЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
О.А. СОЛОДЯНКІНА, наук. співроб.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ГЕОМЕХАНІЧНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ІНТЕНСИФІКАЦІЮ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В МАСИВІ ПОРІД НАВКОЛО ПРОТЯЖНИХ ВИРОБОК

Мета. Метою досліджень є комплексна оцінка геомеханічних та технологічних факторів, що впливають на інтенсифікацію деформаційних процесів у приконтурному масиві порід в околі протяжних гірничих виробок.

Методи дослідження. Результати, наведені у статті отримані з використанням методів шахтних досліджень, математичної обробки натурних вимірів, аналізу та узагальнення результатів попередніх досліджень, досвіду спорудження та експлуатації підземних гірничих виробок різного призначення.

Наукова новизна. Встановлено, що збільшення площі поперечного перерізу капітальних виробок в умовах шахти імені Героїв космосу в 1,4 рази за останні 40 років викликало зростання зміщень породного контуру на величину $k_s = 1,175$. Отримано значення коефіцієнта інтенсивності деформацій $k_i = 0,66$, що дозволило оцінити сучасний геотехнічний стан породного масиву – зниження його міцності та збільшення напруженого стану порід через техногенну порушеність і сумарний вплив очисних та гірничопідготовчих робіт на ділянку експлуатаційного горизонту. Показано, що показники умов розробки шахти ім. Героїв Космосу на сучасному етапі експлуатації дорівнює $\theta = 0,41$ (визначений без урахування коефіцієнта k_i $\theta = 0,62$), що свідчить про високу ступінь складності умов експлуатації комплексу гірничих виробок.

Практична значимість. Виконана оцінка гірничо-геологічних, геотехнічних та технологічних факторів та отримані коефіцієнти, що характеризують інтенсифікацію деформаційних процесів навколо протяжних виробок. Це дозволяє визначити ступень складності умов експлуатації виробок, обґрунтовано підійти до проектування конструкцій кріплення, засобів з охорони і підтримання виробок та технології ведення гірничопрохідницьких робіт. Практичними результатами має стати суттєве підвищення ефективності технологічних та організаційних рішень для забезпечення надійної і безпечної експлуатації капітальних і підготовчих протяжних виробок, а також зниження обсягів ремонтних робіт протягом тривалого терміну їх експлуатації.

Результати. Встановлені залежності зміщень контуру виробок від часу їх експлуатації для умов шахти імені Героїв Космосу компанії «ДТЕК Павлоградвугілля». Встановлені значення коефіцієнтів, що призводять до інтенсифікації зміщень породного контуру протяжних виробок: від технологічного параметру – площі поперечного перерізу виробки, враховане коефіцієнтом перерізу k_s та комплексу геомеханічних параметрів, що оцінюються коефіцієнтом інтенсивності деформацій k_i .

Ключові слова: капітальна гірничавиробка, тампонаж закріпного простору, міцність породного масиву, коефіцієнт перерізу, коефіцієнт інтенсивності деформацій

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-9-16

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Вугільна промисловість в Україні ще залишається базовою галуззю економіки. Світові тенденції свідчать про поступовий перехід на джерела енергії, що відновлюються, проте для зростання обсягів та стабільного отримання енергії з альтернативних джерел знадобиться ще 40-50 років. На цей час потрібно забезпечити достатню кількість вугілля, як сировини для теплових електростанцій, та вже зараз усвідомити, що до кінця цього перехідного періоду, треба буде припинити діяльність шахт, закрити які надто складно, а інколи і неможливо з екологічних причин.

Поряд з вирішенням завдань, що стоять у світовій енергетиці, Україна повинна вирішувати стратегічні питання на державному рівні. Одним з них є забезпечення своїх теплових електростанцій газовими марками вугілля, на заміну антрацитових. Наразі Україна відчуває гострий дефіцит антрациту. На підконтрольній території запасів вугілля газових марок достатньо. В першу чергу це родовище Західного Донбасу, на якому ведуть розробку потужні шахти вугільної компанії «ДТЕК Павлоградвугілля». Лідером із видобутку вугілля серед названих є шахта імені Героїв космосу, річний обсяг видобутку якої становить біля 3 млн тонн.

Видобуток вугілля неминуче пов'язаний зі збільшенням глибини розробки. При цьому істотно збільшується гірський тиск, змінюються властивості породного середовища, суттєво активізуються геомеханічні процеси в масиві порід навколо виробок. Ведення гірничих робіт викликає перерозподіл початкового поля напружень, призводить до руйнування масиву порід, зміни його просторової структури. Часто ці процеси носять катастрофічний характер, супроводжуються людськими і матеріальними втратами. У зв'язку з цим, однією з найбільш актуальних проблем сьогодні є підвищення безпеки і ефективності виконання підземних робіт.

Найбільш тяжкі наслідки проявів високого гірського тиску у виробках глибоких шахт обумовлені великими деформаціями породного масиву. За певних умов великі деформації масиву можуть реалізовуватися надзвичайно швидко, у динамічній формі – гірничі удари, раптові викиди вугілля, породи і газу [1]. Інші протікають відносно повільно, наприклад, деформація і руйнування кріплення, здимання порід підшви і розглядаються як псевдостатичні процеси. Проте і в останньому випадку – у складних умовах, матеріальні збитки порівняні з катастрофічними.

При розвитку гірничих робіт і збільшенні глибини розробки особливої актуальності набувають питання спорудження та підтримання капітальних виробок – з тривалим терміном експлуатації, що забезпечують підготовку нових ділянок та глибоких горизонтів [1].

Досвід експлуатації шахт у складних гірничо-геологічних умовах свідчить, що для забезпечення стійкого стану виробок необхідно поряд із встановленням кріплення проводити спеціальні заходи з максимальним використанням несучої здатності масиву гірських порід, залучення його до спільної роботи з кріпленням. У складних умовах шахт Західного Донбасу добре зарекомендувало себе комбіноване кріплення із тампонажем закріпного простору, що працює разом з приконтурним породним масивом. Незважаючи на те, що технологія зведення такого кріплення давно відома, трудомісткість та вартість його залишається досить високою.

Крім того, наразі ситуація на шахтах регіону суттєво погіршилася. Збільшилася глибина розробки до 400...550 м, зросла техногенна порушеність масиву порід. Інтенсифікація очисних робіт на шахтах потребувала збільшення перерізу виробок у середньому від 10 м² до 18 м². Зазначені причини призвели до того, що зараз при спорудженні капітальних виробок, через складну організацію робіт, технологія заповнення закріпного простору або не проводиться, або це виконується зі значним відставанням від вибою, що не забезпечує тривалої стійкості виробок і вимагає подальшого виконання дорогих і трудомістких ремонтних робіт.

Аналіз досліджень і публікацій. В даний час розуміння закономірностей протікання геомеханічних процесів навколо гірничих виробок знаходиться на високому рівні. Вивченню особливостей їх формування в умовах шахт Західного Донбасу присвячені роботи Максимова О.П., Усаченка Б.М., Стицина В.І., Шашенка О.М., Халимендика Ю.М., Кириченка В.Я., Шмиголя О.В., Вигодіна М.О. та інших. Всі вони відзначають специфіку деформаційних процесів зу-

мовлену гірничо-геологічними умовами – наявністю слабких порід, їх шаруватістю, порушеністю та ін.

Детальні дослідження з вивчення закономірностей деформування породного масиву навколо протяжних виробок в умовах глибоких шахт Західного Донбасу у 1980-х роках були виконані Вигодіним М.О. [2]. Деякі результати цих досліджень наведено на рис. 1 та 2. Отримані результати свідчать, що геомеханічні процеси навколо об'єктів, що досліджувалися (типові виробки, розташовані поза зоною впливу очисних робіт), нелінійно розвиваються протягом 50 діб, після чого їх інтенсивність суттєво знижується [3].

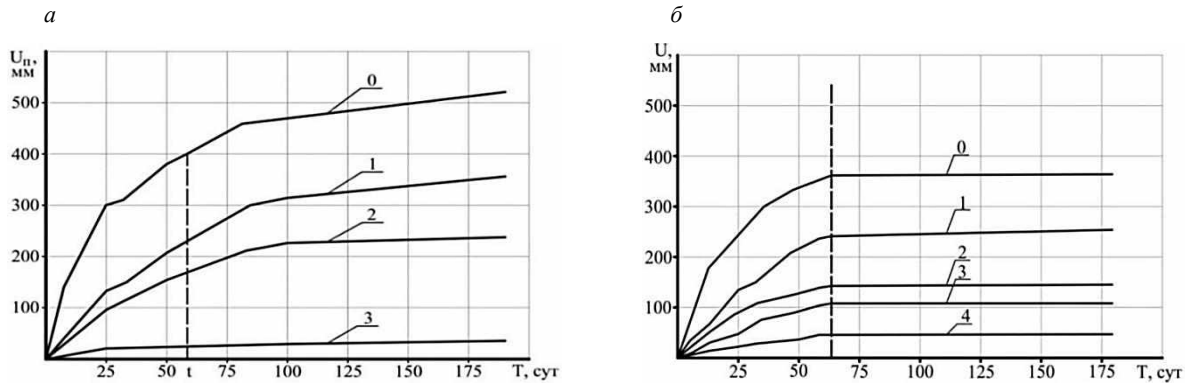


Рис. 1. Зміщення приконтурного масиву в підшви (а) та покрівлі (б) у східному магістральному конвєсрному штрєку гор. 370 м шахти ім. Героїв космосу: 0, 1, 2, 3 – глибина закладання реперів в м; t – час проведення тампонажу закріпного простору, доба

Аналогічні результати досліджень у виробках шахт Західного Донбасу в 1970-80-ті роки були виконані Ю.М. Халимендиком [4], Б.М. Усаченком [5], В.І. Стициним [6] та ін. Параметри деформування приконтурного масиву за їх даними в цілому схожі з результатами М.О. Вигодіна.

На рис. 3 (графік 2) наведена сукупність цих даних для зміщень підшви виробки, яка апроксимована виразом

$$U_{1,2} = a \cdot (1 - e^{-bL}), \quad (1)$$

де U – здиання підшви виробки, L – відстань до вибою; a , b – коефіцієнти апроксимації: $a_1 = 706,5$; $b_1 = 0,0132$; $a_2 = 530,3$; $b_2 = 0,0177$.

Отримані результати свідчать, що здиання підшви виробки сягали небезпечної величини на відстані 50-60 м від вибою. Тому тампонаж, який виконується за прохідницьким комплексом на відстані 30-40 м від вибою, проводився ще до реалізації значних деформацій приконтурного масиву і був ефективним заходом з підвищення стійкості виробок.

Зміщення контуру виробки та деформації приконтурного масиву суттєво зменшувалися і стабілізувалися, а в окремих випадках повністю зупинялися.

Результати шахтних досліджень, виконані співробітниками кафедри БГГМ НТУ «Дніпровська політехніка» протягом 2011-2016 р. у капітальних виробках шахти імені Героїв космосу, що споруджувалися, показали, що на сучасному етапі розвитку гірничих робіт, деформаційні процеси відбуваються більш інтенсивно, ніж 30-40 років тому (рис. 3, графік 1) [7-9].

Так, активізація деформаційних процесів відбувається вже на відстані 10-15 м від вибою, а одразу за прохідницьким комплексом здиання підшви виробки сягає критичних величин. Виконання тампонажних робіт на цьому етапі спорудження виробки вже виконується із запізненням і його ефективність незначна.

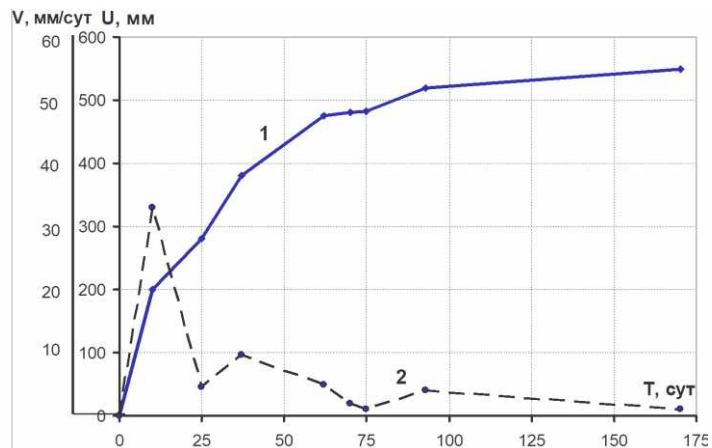


Рис. 2. Графік здиання підшви виробки (1) та швидкості здиання (2) у часі в квершлагу №3 гор. 470 м шахти ім. Героїв космосу

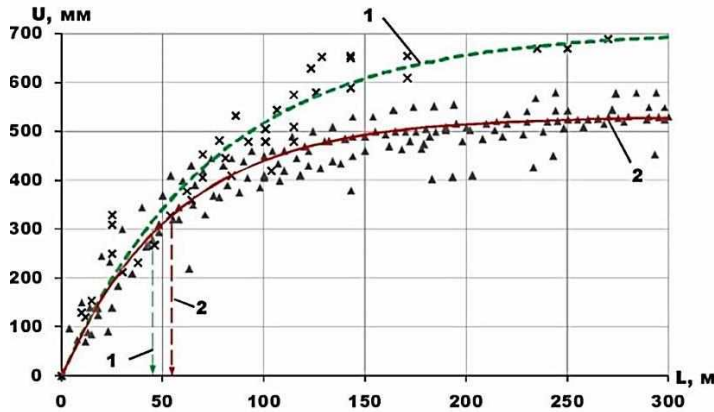


Рис. 3. Графіки здимання підшви у виробках гор. 370 м шахти ім. Героїв космосу виконаних за результатами досліджень: 1 – сучасний стан гірничих робіт; 2 – у період 1970-1980 років

Аналізуючи отримані результати необхідно відзначити, що і для першої, і для другої залежності використовувалися дані, отримані при спорудженні капітальних виробок в однакових умовах – пласт C_{10} , горизонт 370 м шахти імені Героїв космосу. При цьому зміщення контуру виробки (здимання підшви) збільшилися в

середньому в $U1/U2 = 1,32$ рази.

Таким чином, метою досліджень, представлених у статті, є комплексна оцінка геомеханічних та технологічних факторів, що впливають на інтенсифікацію деформаційних процесів у приконтурному масиві порід в околі протяжних гірничих виробок.

Постановка задачі. Метою досліджень, результати яких наведені у статті, є оцінка факторів, що впливають на активізацію деформаційних процесів у масиві гірських порід навколо протяжних виробок.

Викладення матеріалу та результати. На стан виробок впливає велика кількість факторів, що визначають її стійкість, обсяги ремонтних робіт, безпеку робітників. Ступінь впливу цих факторів різна і до кінця не вивчена. Тому часто проектувальники оцінюють сукупний їх вплив.

Найбільш прийнятним та досить аргументованим для оцінки ступеня складності умов ведення гірничих робіт є емпіричний показник, запропонований Ю.З. Заславським [10]

$$K = \gamma H / R_c, \quad (2)$$

де γ – об'ємна вага порід, H – глибина розробки, R_c – міцність масиву порід на стиск.

За своєю фізичною сутністю параметр $\gamma H / R_c$ найбільш точно відображає стан породного масиву в конкретних геомеханічних умовах, дозволяє класифікувати породний масив за ступенем його стійкості та рекомендується нормативним документом [11], як критерій оцінки умов ведення гірничих робіт. Нами далі буде використовуватися величина зворотна показнику Ю.З. Заславського – комплексний показник умов розробки

$$\theta = R_c k_c / \gamma H, \quad (3)$$

де міцність масиву приймається з урахуванням коефіцієнта структурного послаблення – k_c .

Розглянутий критерій (θ , K) поєднує в собі такі основні показники стану масиву порід, як його міцність – $R_c k_c$ і рівень напружень, що діють у ньому – γH .

За величиною показника умов розробки θ ступінь складності ведення гірничих робіт на шахтах ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» можна поділити на такі групи [7]:

А. $\theta > 1$ – сприятливі умови експлуатації виробок (шахти Тернівська, Самарська);

Б. $\theta < 1$ – несприятливі умови експлуатації виробок (шахти Павлоградська, Дніпровська);

В. $\theta < 0,67$ – особливо складні умови експлуатації виробок (шахти ім. Героїв космосу, Західнодонецька).

Для розглянутого гор. 370 м шахти імені Героїв космосу величина цього показника $\theta = 0,62$, що відносить умови експлуатації протяжних виробок до категорії особливо складних.

Інтенсифікація деформаційних процесів при веденні гірничопробудівних робіт на шахті, що була встановлена дослідженнями останніх років, вочевидь обумовлена зміною значень $R_c k_c$ і γH та деяких параметрів технології проведення магістральних виробок за останні 40 років.

Актуальність досліджень визначається необхідністю подальшої підготовки до відпрацювання нових запасів та спорудження комплексу виробок у межах блоку вуглепродуктивної товщі, що інтенсивно відпрацьовується. Досить сказати, що шахту імені Героїв космосу було введено в експлуатацію у 1979 р. з проектною потужністю 1,5 млн. тон вугілля на рік. Наразі шахта досягла рекордного рівня видобутку – понад 3 млн. тон на рік за останній період. Видобуток вугілля ведеться одночасно 4-5 лавами на 2-3 горизонтах [12, 13].

Врахування впливу зміни площі перерізу виробки на зміщення породного контуру

Серед гірничотехнічних чинників найбільшою мірою за останні роки змінилася площа поперечного перерізу виробки. Для магістральних виробок, які споруджувались у 1980-ті роки вона становила $S_{cb} = 12,7 \text{ м}^2$. В даний час основним перетином капітальних гірничих виробок, що споруджуються, $S_{cb} = 17,7 \text{ м}^2$.

Вплив площі поперечного перерізу виробки на зміщення порід оцінюють коефіцієнтом перерізу k_s . Згідно з [14] збільшення площі поперечного перерізу капітальних виробок від $S_{cb}=12,7 \text{ м}^2$ до $S_{cb} = 17,7 \text{ м}^2$ призведе до збільшення зміщень контуру на величину $k_s = 1,17$.

Г.Л. Фісенко для оцінки впливу площі виробки на зміщення пропонує формулу [14]

$$k_s = 0,315\sqrt{S}, \quad (4)$$

розрахунок за якою дає значення $k_s = 1,18$. Для подальших розрахунків приймаємо $k_s = 1,175$.

Оцінка міцності масиву ($R_c k_c$)

Основним фактором, що впливає на поведінку порід навколо виробок є їх міцність. Невідповідність параметрів кріплення та охорони гірничих виробок умовам їх роботи пов'язаний з тим, що традиційні методи визначення міцності породного масиву для конкретного регіону не в змозі повною мірою врахувати фактори, що визначають реальну гірничо-геологічну ситуацію.

Межа міцності порід на одновісний стиск визначається за стандартними методиками проведення випробувань. Міцність породного масиву відрізняється від міцності лабораторних зразків, що враховується застосуванням коефіцієнта структурного ослаблення. За результатами досліджень Глушка В.Т., Кірничанського Г.Г., Безазьяна О.В., Фісенка Г.П. значення коефіцієнта k_c рекомендується приймати в межах 0,1-0,5 залежно від ступеня тріщинуватості масиву, орієнтації систем тріщин, міцності порід, що складають масив і т.д.

Також при проектуванні виробок коефіцієнт структурного ослаблення можна визначати за даними кількісного аналізу порушеності масиву порід у місцях розташування виробок на підставі даних інженерно-геологічних вишукувань.

Для умов шахт Західного Донбасу значення коефіцієнта структурного ослаблення тріщинуватого масиву рекомендується приймати рівним для аргілітів 0,2, алевролітів 0,3.

Важливим фактором, що впливає на стан виробок, є вологість, яка істотно знижує міцність гірських порід. У вологонасиченому стані породи розпадаються за площинами напластування і знижують свою міцність в 4 і більше разів (до 80% міцності [15]). Тому врахування різкого зниження міцності від вологості порід вимагає введення відповідних поправочних коефіцієнтів.

Як вважає автор [16], для визначення міцності порід у масиві з урахуванням їх структурного ослаблення, вологості та часу впливу навантаження, слід користуватися виразом, МПа,

$$R_c = R_c^l k_c k_{вл} k_{дл}, \quad (5)$$

де R_c^l – міцність порід, визначена у лабораторних умовах на стандартних зразках, МПа; k_c – коефіцієнт структурного ослаблення порід; $k_{вл}$ – коефіцієнт впливу вологості на характеристики міцності порід; $k_{дл}$ – коефіцієнт тривалої міцності.

Поряд із зазначеними вище гірничо-геологічними особливостями регіону, що погіршують умови ведення робіт, технічними службами шахт ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» відзначаються фактори, вплив яких у міру експлуатації родовища та збільшення глибини робіт буде все більш вагомим. До них слід віднести техногенну порушеність масиву порід, підвищення тектонічної порушеності, збільшення зон підвищеного гірського тиску. Врахування перелічених факторів має проводитися шляхом запровадження відповідних коефіцієнтів, що також зменшують міцність порід. Так, тектонічне порушення місця розташування виробки або ступінь тріщинуватості породи, що оцінюється коефіцієнтом k_{CH} [17], в залежності від типу порушення викликає зниження міцності порід – $k_{CH} = 0,3 \div 0,9$.

Оцінка рівня діючих напружень (γH)

Крім того, вплив цих же факторів – зон підвищеного гірничого тиску від очисних робіт, що проводяться в межах розглянутого горизонту, вплив відпрацювання лав на суміжних пластах вимагає введення відповідних коефіцієнтів концентрації до діючих на даній глибині геостатичних напружень [18, 19].

Основний вплив на стан виробки надає опорний тиск, що виникає внаслідок концентрації напружень у приконтурному просторі виробки. Цьому тиску протидіє не тільки кріплення і охоронні конструкції, але й опірність порід, що оточують виробку, їх несуча здатність.

В умовах інтенсивної очисної виїмки доцільно вивчення та врахування техногенного поля напружень, що формується взаємним впливом кількох лав, що відпрацьовувались одночасно в умовах високої структурної неоднорідності та геологічної порушеності масиву.

В [17] встановлено, що значна неоднорідність природних полів напружень, що визначається особливостями тектонічної структури родовищ, ще більше посилюється при техногенному впливі на породний масив під час гірничих робіт.

При виборі параметрів систем розробки на Старобинському родовищі, наприклад, для обліку навантажень на кріплення виробок вводилися розрахункові коефіцієнти, значення яких знаходяться в діапазоні 1,13÷3,12 [20].

Ряд дослідників в оцінці стійкості виробок використовують коефіцієнт порізаності масиву. Під коефіцієнтом порізаності масиву K_{piz} розуміється [21] відносний обсяг виробок, що потрапляє в шар радіусом L_{min} з центром в аналізованому перерізі. Порізаність масиву виробками істотно впливає на деформації приконтурного масиву порід. Так, за даними [22], коефіцієнт порізаності масиву, визначений для однієї з виробок в умовах верхньокамського родовища $K_{piz} = 3,54$ рівносильний збільшенню глибини розташування одиночної виробки з 395 до 474 м. Це вдвічі збільшує швидкість вертикальної конвергенції приконтурних порід у порівнянні зі швидкістю зміщень одиночної виробки.

Важливим тут є те, що порізаність масиву виробками, а також вплив сусідніх виробок в міру експлуатації горизонту (ділянки) шахти, що відпрацьовується, тільки зростають.

Визначення коефіцієнта інтенсивності деформацій k_i в комплексному показнику умов розробки θ

З урахуванням виконаного вище аналізу та обґрунтувань щодо оцінки гірничо-геологічних та геотехнічних факторів при проектуванні гірничих робіт [23], показник умов розробки θ для шахт, що розглядаються, буде нижчим і відповідатиме ситуації на сучасному етапі експлуатації.

У [24] була отримана залежність зміщень контуру виробок від часу експлуатації виробки T і показника умов розробки θ , м,

$$U_i = 0,45k_n d(a \ln(T) - b)\theta^{(0,9-c)}, \quad (6)$$

де a і b – коефіцієнти, що залежать від показника умов розробки θ ; c і d – змінні, що залежать від коефіцієнта бічного розпору λ ; k_n – коефіцієнт, що враховує напрямок виробки у відношенні до простягання порід і кут нахилу пластів.

Як було встановлено раніше, відношення зміщень підосви U_2 , для виробок, що проводяться на сучасному етапі до зміщень U_1 для виробок, які проводили у 1970-80-х роках становить $U_2 / U_1 = 1,32$.

Вище було показано, що збільшення зміщень, пов'язане з підвищенням площі поперечного перерізу виробок, може бути оцінено коефіцієнтом перерізу $k_s = 1,175$.

Таким чином, зміщення підосви U_2 для виробок с $S_2 = 17,7 \text{ м}^2$ повинні бути приведені за допомогою коефіцієнта перерізу k_s до рівня зміщень при перетині виробки $S_1 = 12,7 \text{ м}^2$

$$\frac{U_2 / k_s}{U_1} = \frac{U_2}{U_1 k_s} = \frac{1,32}{1,175} = 1,123.$$

Тоді відношення зміщень, що визначаються за формулою (8), після скорочень будуть приведені до простого співвідношення

$$\frac{U_2 = f(\theta_2)}{U_1 = f(\theta_1)} = \frac{\theta_2^{(0,9-c)}}{\theta_1^{(0,9-c)}} = 1,123, \quad (7)$$

де $\theta_1 = \frac{R_c k_c}{\gamma H}$ – показник умов розробки на період 1970-80 рр.; $\theta_2 = \frac{R_c k_c}{\gamma H} k_u$ – показник умов розробки для сучасного етапу, з урахуванням коефіцієнта інтенсивності деформацій k_i .

Для вугледобувного регіону Західного Донбасу значення $c = 1,18$ [25].

Після рішення (8) отримаємо значення коефіцієнта інтенсивності деформацій $k_i = 0,66$, що враховує сучасний геотехнічний стан породного масиву – зниження міцності та збільшення напруженого стану порід через техногенну порушеність та сумарний вплив гірничих робіт на ділянку експлуатаційного горизонту. Тоді показник умов розробки для шахти імені Героїв космосу на сучасному етапі експлуатації дорівнюватиме. $\theta = 0,41$.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Встановлено, що збільшення площі поперечного перерізу капітальних виробок на шахті імені Героїв космосу за останні 40 років від $S_{ce} = 12,7 \text{ м}^2$ до $S_{ce} = 17,7 \text{ м}^2$ викликало зростання зміщень породного контуру на величину $k_s = 1,175$, що необхідно враховувати при проектуванні конструкцій кріплення, засобів з охорони виробок та технології ведення гірничопрохідницьких робіт.

Отримано значення коефіцієнта інтенсивності деформацій $k_i = 0,66$, що дозволило оцінити сучасний геотехнічний стан породного масиву – зниження його міцності та збільшення напруженого стану порід через техногенну порушеність і сумарний вплив очисних та гірничопідготовчих робіт на ділянку експлуатаційного горизонту.

Показано, що показник умов розробки шахти ім. Героїв Космосу на сучасному етапі експлуатації дорівнює $\theta = 0,41$ (визначений без урахування коефіцієнта k_i $\theta=0,62$), що підкреслює ступінь складності умов експлуатації комплексу очисних та підготовчих виробок та дозволяє більш обґрунтовано підійти до вибору ефективних рішень для забезпечення надійної та безпечної роботи, зниження обсягів ремонтних робіт протягом тривалого терміну їх експлуатації.

Список літератури

1. Babets, D., Sdvyzhkova, O., Shashenko, O., Kravchenko, K., & Cabana, E.C. (2019). Implementation of probabilistic approach to rock mass strength estimation while excavating through fault zones. *Mining of Mineral Deposits*, 13(4), 72-83. <https://doi.org/10.33271/mining13.04.072>
2. Выгодин М.А., Евтушенко В.В. Пучение пород почвы в выработках шахт Западного Донбасса // Уголь Украины. – 1987. - № 7. – С. 12-13.
3. Выгодин М.А., Евтушенко В.В. Методы повышения устойчивости горных выработок на шахтах Западного Донбасса // Шахтное строительство. – 1989. – № 5. – С. 11-14.
4. Халимендик Ю.М., Чемакин В.А., Спицын А.Ю. Совершенствование крепей горных выработок в слабо-метаморфизированных породах Западного Донбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1997. – № 3. – С. 96-98.
5. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок. – Киев: Наук. думка, 1979. – 136 с.
6. Стыцин В.И. Изучение проявлений горного давления в основных горных выработках шахт Западного Донбасса с целью выбора рациональных параметров крепей. Дис...канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1972. – 143.
7. Солодянкин А.В., Мартовицкий А.В., Панченко В.В. Оценка геомеханических условий поддержания протяженных выработок шахт ОАО «Павлоградуголь» // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог, 2011. – Вып. 94. – С. 109-113.
8. Tereschuk R., Hryhoriev O, Tikhonenko V. Parameters of single anchor effect area in homogeneous border rock mass // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, КТУ, 2016. – Вып. 41. – С. 22-25.
9. Шашенко А.Н., Кравченко К.В., Прокудин А.З., Смирнов А.В. Методика решения задачи об устойчивости выработки с комбинированной крепью АСН-А // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, 2015. – Вып. 39. – С.24-29.
10. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. – К.: Універ. вид-во “Пульсари”, 2002. – 304 с.
11. СНИП П-94-80. Подземные горные выработки. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1982. – 272 с.
12. Солодянкин А.В., Мартовицкий А.В., Смирнов А.В. Оценка геомеханических условий и состояния протяженных горных выработок шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» // Инженерный вестник Дона, – 2015. – №2, ч.2.
13. Sdvyzhkova O., Babets D., Kravchenko K., & Smirnov A.V. (2015). *Rock state assessment at initial stage of longwall mining in terms of poor rocks of Western Donbass*. New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining. Taylor & Francis Group, London, 65-70.
14. Рева В.Н., Мельников О.И., Райский В.В. Поддержание горных выработок. – М.: Недра, 1995. – 270 с.
15. Пиньковский Г.С., Безазьян А.В. Определение прочностных характеристик горных пород при естественной влажности // Уголь Украины. – 1979. – № 8. – С. 21-22.
16. Ким Д.Н. Исследование структурного ослабления трещиноватых пород моделированием прочностных свойств в лабораторных условиях // Вопросы исследования горного давления и сдвижения пород. – Свердловск: ИГД АН СССР, 1963. – Вып. 5. – С. 97-105.
17. Состояние и перспективы решения проблемы горных ударов на рудниках Дальнего Востока / И.Ю. Рассказов, Г.А. Курсакин, П.А. Аникин, А.М. Гулевич, Г.М. Потапчук // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 12. – С. 433-444.
18. Солодянкин А.В., Машурка С.В. Оценка интенсивности ремонтных работ и устойчивость протяженных горных выработок // Вісник Криворізького національного університету. – 2016. – Вып. 41. – С. 97-102.
19. Солодянкин А.В., Лудка И.В. Исследование влияния очистных работ на устойчивость участковых выработок в условиях ОП «Шахта «Партизанская» ГП «Антрацит» // Вісник Криворізького національного університету. – 2016. – Вып. 41. – С. 102-107.
20. Инструкция по применению систем разработки на Старобинском месторождении. – Солигорск-Минск, 2010. – 152 с.
21. Соловьев В.А., Аптуков В.Н., Ваулина И.Б. Поддержание выработок в соляных породах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 2. – С. 344-356.
22. Мисников А.В. Прогноз и обеспечение устойчивости капитальных выработок калийных рудников в мелкослоистых породах на больших глубинах: автореф. дис... канд. техн. наук / В.А. Мисников. – Солигорск, 1991. – 17 с.
23. Shashenko, A., Solodyankin, A., & Gapičiev, S. (2010). Bifurcation model of rock bottom heaving in mine work-

ings. *New Techniques and Technologies in Mining*. London: CRC Press / Balkema, 71-76.

24. **Солодянкин А.В.** Геомеханические модели в системе геомониторинга глубоких угольных шахт и способы обеспечения устойчивости выработок. Дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.04., 05.15.09. Дніпропетровськ. – 2009. – 426 с.

25. **Шашенко О.М., Солодянкин О.В., Мартовичський А.В.** Управління стійкістю протяжних виробок глибоких шахт. – Дніпропетровськ: ЛізуновПрес, 2012. – 384 с.

УДК 699.865:692.23

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

Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

Г. В. ШАМРІНА, канд. техн. наук, доц.

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МІНІМАЛЬНОЇ ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЮЮЧОГО ШАРУ В КОНСТРУКЦІЇ ЗОВНІШНЬОЇ СТІНИ

Мета. Розробка і практична реалізація методики визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару для забезпечення виконання нормативних вимог до приведеного опору теплопередачі огорожувальної конструкції.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети застосовувались аналітичні розрахунки приведенного опору теплопередачі та товщини утеплювача зовнішньої стіни. При визначенні приведеного опору теплопередачі враховувався термічний вплив теплопровідних включень, що є характерними особливостями зовнішньої стіни, а також теплопровідних включень, що визначаються конструктивними особливостями всієї будівлі.

Наукова новизна. Обґрунтовано методичний підхід до визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару, що забезпечує виконання нормативних вимог до приведеного опору теплопередачі конструкції зовнішньої стіни.

Практична значимість. Запропонована методика спрощує визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару, що забезпечує виконання нормативних вимог до приведеного опору теплопередачі зовнішньої стіни на стадії прийняття проєктних рішень щодо її конструкції, і дозволить виконувати розрахунок в один прийом без багатоваріантного пошуку необхідного рішення. Оскільки товщина шару утеплювача в зовнішній стіні безпосередньо пов'язана з трансмісійними тепловтратами через теплоізоляційну оболонку будівлі, то її визначення в один прийом за наведеною методикою спрощує подальші розрахунки енергетичної ефективності будівлі в цілому. За умов дотримання мінімальних вимог щодо показника енергоефективності в результаті цих розрахунків і застосування понижувального коефіцієнта до мінімально допустимої нормативної величини приведеного опору теплопередачі, товщина утеплювача може бути оптимізована і мати менше значення.

Результати. Обґрунтовано і наведено приклади практичної реалізації методики визначення товщини теплоізолюючого шару, яка придатна до використання на першому етапі конструювання зовнішньої стіни за умов дотримання нормативних вимог до приведеного опору теплопередачі огорожувальної конструкції. Методика базується на запропонованій аналітичній залежності для визначення товщини шару утеплювача в зовнішній стіні.

Ключові слова: опір теплопередачі, приведений опір теплопередачі, лінійний коефіцієнт теплопередачі, точковий коефіцієнт теплопередачі, теплоізолюючий шар, зовнішня стіна.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-16-21

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Для виконання умови (4) ДБН В.2.6-31:2016 [1] в п.5.6 ДСТУ Б В.2.6-189:2013 [2] зазначається, що при визначенні необхідної товщини теплоізоляційного шару враховують лише термічний вплив теплопровідних включень, що є характерними особливостями відповідного типу непрозорі огорожувальної конструкції. Термічний вплив теплопровідних включень, що визначаються конструктивними особливостями всієї будівлі, при визначенні необхідної товщини теплоізоляційного шару не враховують. Даний термічний вплив враховують при визначенні енергопотреб для опалення та охолодження згідно з ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [3]. Але необхідну товщину теплоізоляційного шару можна встановити тільки способом перебору і повторення розрахунків декілька разів. Тобто, бракує зручної методики, яка б дозволяла в проєктній практиці в один прийом без багатоваріантного пошуку встановлювати необхідне рішення щодо товщини теплоізоляційного шару. При розрахунках енергоефективності будівлі з урахування всіх теплопровідних включень (міжповерхових перекриттів, зовнішніх та внутрішніх кутів тощо), які зменшують значення приведеного опору теплопередачі також встає проблема обґрунтування мінімальної товщини теплоізоляційного шару. Тому розробка означеної методики є актуальною науковою задачею.

Аналіз досліджень і публікацій. Системний принцип в сучасному проектуванні за вимогами енергоефективності будівель, що аналізується у роботах [4-6], включає інформацію, в тому числі, про вибір товщини утеплювача в зовнішніх стінах. Огляд, оцінка ефективності або нові пропозиції конструктивних рішень фасадної теплоізоляції знайшли подальший розвиток в [7-13] але вони не стосуються обґрунтуванню мінімально допустимих значень товщини теплоізоляційного шару в конструкції зовнішньої стіни.

Постановка задачі. Завданням дослідження є:

розробка методики визначення товщини теплоізоляційного шару в конструкції зовнішньої стіни, яка забезпечує виконання нормативних вимог до приведеного опору теплопередачі і включає необхідність проведення декількох уточнюючих розрахунків;

проведення розрахункових досліджень, що демонструють доцільність і зручність практичного застосування цієї методики.

Викладення матеріалу та результати. Розробка методики визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару.

При визначенні необхідної товщини теплоізолюючого шару огороження слід користуватися методичними положеннями, що викладені в розділі 5 [2]. Відповідна товщина теплоізолюючого шару в зовнішній огорожувальній конструкції разом із урахуванням теплопровідних включень забезпечує виконання умови у вигляді

$$R_{\Sigma \text{пр}} \geq R_{q \text{min}}, \quad (1)$$

де $R_{\Sigma \text{пр}}$ – приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції, $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}$; $R_{q \text{min}}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції, що встановлюється згідно з [1].

На початковому етапі проектування, зазвичай, виконуються розрахунки опору теплопередачі термічно однорідної непрозорої огорожувальної конструкції R_{Σ} , $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}$, за формулою

$$R_{\Sigma} = 1/\alpha_6 + \Sigma \delta_i / \lambda_i + 1/\alpha_3, \quad (2)$$

де α_6 та α_3 – коефіцієнти теплопередачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, $\text{Вт} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$, які є визначеними незмінними величинами.

Для подальшого аналізу представимо формулу (2), виділивши в ній складову $\delta_{\text{ут}} / \lambda_{\text{ут}}$, що відноситься до теплоізолюючого шару товщиною $\delta_{\text{ут}}$, м, та теплопровідністю $\lambda_{\text{ут}}$, $\text{Вт} / (\text{m} \cdot \text{K})$, у наступному вигляді

$$R_{\Sigma} = 1/\alpha_6 + \delta_{\text{ут}} / \lambda_{\text{ут}} + \Sigma \delta_i / \lambda_i + 1/\alpha_3. \quad (3)$$

Складову $R_{\kappa} = \Sigma \delta_i / \lambda_i$ відноситься до всіх, окрім теплоізолюючого шару, конструктивних шарів з відповідними значеннями товщини та теплопровідності.

Приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції відповідно до [2] розраховується за формулою

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \Sigma k_j L_j + \Sigma \Psi_m N_m}. \quad (4)$$

Формулу (4) можна спростити, вважаючи що визначення товщини теплоізолюючого шару буде проводитись для стіни з визначеним за формулою (2) опором теплопередачі, і представити у вигляді

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \Sigma k_j L_j + \Sigma \Psi_m N_m}, \quad (5)$$

де F_{Σ} – загальна площа конструкції, m^2 ; F_i – площа однорідної частини конструкції, m^2 ; k_j – лінійний коефіцієнт теплопередачі j -го лінійного теплопровідного включення, $\text{Вт} / (\text{m} \cdot \text{K})$; L_j – лінійний розмір (проекція) j -го лінійного теплопровідного включення, м; Ψ_k – точковий коефіцієнт теплопередачі k -го точкового теплопровідного включення, $\text{Вт} / \text{K}$; N_k – загальна кількість k -их точкових теплопровідних включень, шт.

Користуючись наведеними загальновідомими формулами, встановлюємо мінімальну товщину теплоізоляційного шару, що задовольняє вимозі за формулою (1). Очевидно це можливо, коли виконується рівняння $R_{\Sigma \text{пр}} = R_{q \text{min}}$.

В такому разі формулу (5) можна представити у вигляді

$$R_{q \text{min}} = \frac{F_{\Sigma}}{\frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \Sigma k_j L_j + \Sigma \Psi_m N_m} \quad (6)$$

Виконавши ряд простих перетворень формули (6), можна представити значення опору теплопередачі термічно однорідної непрозорої огорожувальної конструкції у вигляді

$$R_{\Sigma i} = \frac{F_i}{\frac{F_{\Sigma}}{R_{q \min}} - \Sigma k_j L_j + \Sigma \psi_m N_m} \quad (7)$$

Далі, представивши праву частину формули (7) у відповідності до формули (3) та виділивши в ній складову, що відноситься до теплоізоляційного шару, у вигляді

$$\frac{\delta_{yt}}{\lambda_{yt}} = \frac{F_i}{\frac{F_{\Sigma}}{R_{q \min}} - (\Sigma k_j L_j + \Sigma \psi_m N_m)} - \left(\frac{1}{\alpha_b} + R_k + \frac{1}{\alpha_3} \right),$$

отримуємо розрахункову формулу для способу визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару у вигляді

$$\delta_{yt} = \left[\frac{F_i}{\frac{F_{\Sigma}}{R_{q \min}} - (\Sigma k_j L_j + \Sigma \psi_m N_m)} - \left(\frac{1}{\alpha_b} + R_k + \frac{1}{\alpha_3} \right) \right] \cdot \lambda_{yt} \quad (8)$$

Практична реалізація методики визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару

Для перевірки можливості використання запропонованої методики розглядається умовна триповерхова будівля розміром в плані 21 м на 14 м. Висота поверху становить 3,3 м, а висота приміщень – 3,0 м. Висота від підлоги першого поверху до стелі третього поверху становить 9,6 м. Конструкція стін прийнята з повнотілої цегли завтовшки 0,25 м із зовнішнім утепленням та опорядженням полегшеною штукатуркою. Утеплювач прийнято з теплопровідністю $\lambda=0,045$ Вт/(м·К). Сумарний опір теплопередачі конструктивних шарів по основному полю становить $R_k = 0,339$ м²·К/Вт.

Розглянуто чотири варіанти визначення товщини теплоізоляційного шару в конструкції стіни: варіант 1 – окрема ділянка зовнішньої стіни з одним вікном в межах одного приміщення; варіант 2 – зовнішні стіни всього фасаду з вікнами без урахування теплопровідних включень будівлі; варіант 3 – зовнішні стіни всього фасаду з урахуванням теплопровідних включень будівлі без балконних плит; варіант 4 – зовнішні стіни всього фасаду з урахуванням теплопровідних включень будівлі з балконними плитами.

Варіанти 1-2 відповідають умовам, що наведені в примітці 1 п. 5.6 [2], коли враховуються теплопровідні включення, які відносяться до характерних особливостей стіни, а варіанти 3-4 – умовам, що наведені в примітці 2 п. 5.6 [2], коли враховуються теплопровідні включення стіни, що є конструктивними особливостями всієї будівлі і термічний вплив яких враховують при визначенні енергопотреб за [3]. Вплив внутрішніх стін та перегородок, що примикають до зовнішніх стін, не враховується.

В табл. 1 надана інформація про геометричні показники віконних та дверних прорізів. Ширина укосів усіх прорізів становить 0,15 м.

Таблиця 1

Геометричні показники віконних та дверних прорізів

Варіант	Кількість вікон, шт., розміром, м			Площа вікон, м ²	Кількість дверей, шт., розміром, м		Площа дверей, м ²	Загальна площа вікон та дверей, м ²
	1,5×1,8	1,2×1,8	1,5×2,3		1,5×2,3	1,0×2,3		
1	1	0	0	2,70	0	0	0	2,70
2	41	4	0	119,34	1	2	8,05	127,39
3	41	4	0	119,34	1	2	8,05	127,39
4	29	4	12	128,34	1	2	8,05	136,39

В табл. 2 надана інформація про довжину L_i , м, лінійний коефіцієнт теплопередачі k_i , Вт/(м·К), відповідного теплопровідного включення та кількість точкових кріплень N_m , шт. Значення лінійних коефіцієнтів теплопередачі надані згідно табл. Г.1 [2] для товщини утеплювача 150 мм, у варіанті 4 в дужках надано данні для товщини утеплювача 180 мм.

Кількість точкових кріплень розраховано за умови їх розміщення у кількості 8 шт. на 1 м² площі по основному полю з урахуванням площі стиків стін з міжповерховим перекриттям. Значення точкового коефіцієнту теплопередачі прийнято $\Psi_m = 0,0015$ Вт/К.

Розрахунки за формулою (8), що виконані при $\alpha_g = 8,7$ Вт/(м²·К) та $\alpha_3 = 23$ Вт/(м²·К), прийнятих у відповідності до [2], дозволили встановити розрахункову величину товщини утеплювача. Результати розрахунків (при нормативній величині $R_{q \min} = 3,3$ м²·К/Вт) надано в табл. 3, в якій також наведено запропонована конструктивна товщина утеплювача і розраховані значення

опору теплопередачі по основному полю за формулою (2) та приведенного опору теплопередачі за формулою (5) зовнішньої стіни. У варіанті 4 в дужках наведено результати при значеннях лінійних коефіцієнтів для товщини утеплювача 180 мм у відповідності до табл. Г.1 [2].

Таблиця 2

Довжина та лінійний коефіцієнт теплопередачі теплопровідного включення, кількість точкових кріплень

Варіант	Довжина L_i , м / лінійний коефіцієнт теплопередачі k_i , Вт/(м·К) теплопровідного включення в зоні						Кількість точкових кріплень N_m , шт.
	перемички	підвіконня	рядового примикання	міжповерхового перекриття	балконних плит	зовнішнього кута	
1	1,50/0,081	1,50/0,064	3,60/0,071	0	0	0	50
2	69,80/0,081	66,30/0,064	175,80/0,071	0	0	0	4021
3	69,80/0,081	66,30/0,064	175,80/0,071	140,00/0,082	0	36,00/0,125	4357
4	69,80/0,081 (0,080)	48,30/0,064 (0,068)	187,80/0,071 (0,073)	110,00/0,082 (0,069)	30,00/0,793 (0,754)	36,00/0,125 (0,107)	4213

Таблиця 3

Результати розрахунків товщини утеплювача і опорів теплопередачі

Варіант	Площа стіни, м ² ,		Товщина утеплювача $\delta_{ут}$, м.		Опір теплопередачі, м ² ·К/Вт,		
	F_i	F_Σ	розрахована	конструктивна	нормативний, R_{qmin}	основне поле, R_Σ	приведений, $R_{\Sigma пр}$
1	6,30	7,29	0,148	0,150	3,30	3,83	3,32
2	502,61	589,60	0,142	0,150	3,30	3,83	3,42
3	502,61	589,60	0,147	0,150	3,30	3,83	3,35
4	493,61	579,70	0,180 (0,175)	0,180 (0,180)	3,30	4,50 (4,50)	3,30 (3,36)

У всіх варіантах було розраховано товщину утеплювача та приведений опір теплопередачі в залежності від значення R_{qmin} , м²·К/Вт, який було прийнято: 2,50; 2,75; 3,00; 3,30; 3,60 та 4,00. Графічні залежності для варіанту 4 при товщині утеплювача 180 мм наведено на рис. 1.

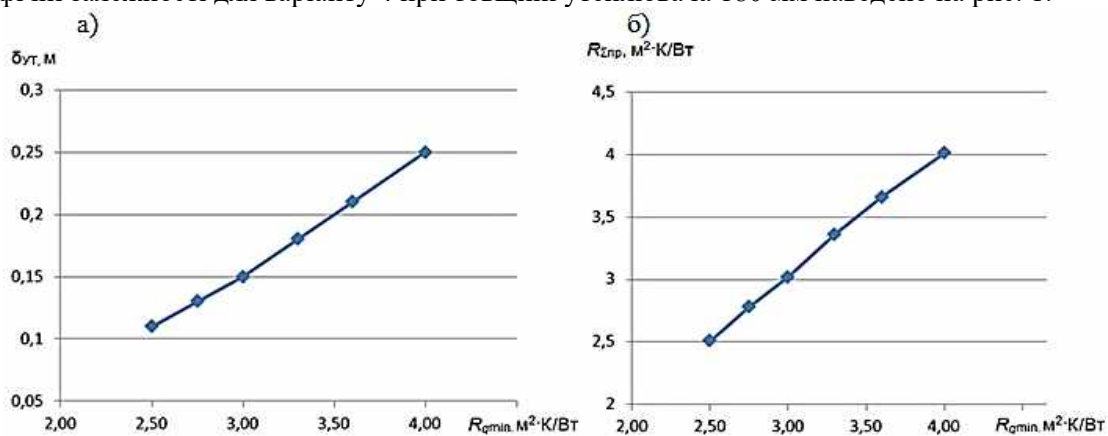


Рис. 1. Розраховані товщина утеплювача (а) та приведений опір теплопередачі (б) в залежності від значення R_{qmin}

Висновки та напрямок подальших досліджень. Запропонована залежність (8) придатна для визначення товщини теплоізолюючого шару на першому етапі, як це рекомендовано приміткою 1 [2], коли розглядаються відповідні непрозорі конструкції, для яких враховуються відповідні теплопровідні включення: з'єднувальні елементи, дюбелі, кронштейни, закладні деталі, арматурні сітки, віконні укуси, стики між елементами непрозорої огорожувальної конструкції, елементи жорсткості тощо. Тобто, для характерної ділянки стіни в одному або декількох приміщеннях будівлі можна розраховувати у першому наближенні за варіантом 1 значення мінімальної товщини теплоізолюючого шару.

Розрахунок за варіантом 2 виявив навіть більші за величиною у порівнянні з варіантом 1 значення приведенного опору теплопередачі стіни.

Залежністю (8) можна користуватися, коли враховуються згідно примітки 2 [2] конструктивні особливості будівлі, до яких відносяться міжповерхові та балконні перекриття, колони, пілони, кутові примикання тощо.

Балконні плити виявилися найбільш тепловитратними теплопровідними включеннями, які потребують прийняття товщини утеплювача 180 мм замість 150 мм. Сучасні конструктивні рішення утеплення балконних плит у вигляді «панчох» призначені для зниження тепловитрат та загалом зменшення товщини утеплювача по основному полю зовнішніх стін.

Залежність (8) дозволяє використовувати рекомендації розділу 6.2.1 [1], коли при виконанні умови (1) розділу 5.1 [1] із забезпечення максимально допустимого значення показника енергоефективності, допускається застосовувати окремі конструктивні елементи теплоізоляційної оболонки із зниженими значеннями опору теплопередачі до рівня 75 % від R_{qmin} для непрозорих частин зовнішніх стін і до рівня 80 % від R_{qmin} для інших огорожувальних конструкцій відповідно до умови згідно з формулою (1) [2] при обов'язковому виконанні умов для цих елементів теплоізоляційної оболонки за санітарно-гігієнічними вимогами.

Підміченим недоліком цієї методики слід вважати те, що лінійні коефіцієнти теплопередачі вузлів примикання міжповерхових перекриттів та у кутах зовнішніх стін значно залежать від товщини утеплювача. Тому потрібні додаткові розрахунки для уточнення запропонованої методики на вагомість їх впливу. Взагалі пошук мінімальної товщини утеплювача в зовнішній стіні будівлі, що відповідає нормативним вимогам, є багатофакторний та багатокроковий процес і запропонована методика є інструментом прийняття оптимального рішення.

Список літератури

1. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель [Чинні з 08.10.2016]. К.: Державне підприємство "Укрархбудінформ", 2016. - 33 с.
2. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 (зі Зміною № 1). Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель [Чинний від 2014.01.01]. К. Мінрегіонбуд України, 2014. 55 с.
3. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні [Чинний від 2015.01.01]. - К. Мінрегіонбуд України, 2016. 205 с.
4. Тімченко Р. О. Нові підходи в проектуванні енергоефективних будівель / Р. О. Тімченко, Д. А. Кришко, О. В. Шевчук, Л. В. Петрова // Вісник Криворізького національного університету. - 2012. - Вип. 31. - С. 95-99.
5. Толмачов С. Т. Аналіз основних показників енергоефективності в ДВНЗ "Криворізький національний університет" / С. Т. Толмачов, О. В. Ільченко, Д. В. Батраков, С. Л. Бондаревський, Ж. Г. Рожненко, Р. О. Пархоменко // Вісник Криворізького національного університету. - 2012. - Вип. 32. - С. 98-102.
6. Хорольський В. П. Енергобезпека підприємств промисловості і в будівництві / В. П. Хорольський, Д. В. Хорольський, М. О. Бабенко // Вісник Криворізького національного університету. - 2013. - Вип. 34. - С. 190-194.
7. Сургаєв В. В. Застосування конструкцій зовнішніх огорожень будівель з підвищеним теплозахистом / В. В. Сургаєв // Вісник Криворізького національного університету. - 2015. - Вип. 40. - С. 128-134.
8. Тимофєєв М. В. Обґрунтування вибору збірних систем зовнішніх стін з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor за умов забезпечення енергоефективності будівлі / М. В. Тимофєєв, Г. В. Шамрина, Д. О. Хохрякова // Гірничий вісник. - 2020. - Вип. 107. - С. 11-16.
9. Фомин Л. С. Особенности конструирования дополнительной теплозащиты фасадных конструкций / С. Л. Фомин, Ю. В. Фурсов // Научный вестник строительства. Вип. 41. Харків: ХНУБА. 2007. - С. 209-294.
10. Коваль Е.А. Определение оптимальной толщины утеплителя внешней ограждающей конструкции при повышении энергоэффективности существующих жилых зданий / Е. А. Коваль, Н. В. Савицкий, Е. Л. Юрченко, Н. В. Пикулина, Т. А. Ковтун-Горбачова, А. С. Коваль // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. 2011, (61), С. 229-232.
11. Філоненко О.І. Дослідження теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій при термомодернізації будівель // О.І. Філоненко, О.Б. Олексієнко, О.О. Геращенко // Научный вестник строительства: збірник наукових праць. - Вип. № 2(76). - Харків: ХНУБА, 2014. - С. 147-151.
12. Григорчук С. О. Аналіз ефективності різних систем теплоізоляції у сучасному будівництві. / С. О. Григорчук // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“. 2018, 1, С. 70-71.
13. Тимофєєв М. В. Теплотехнічні показники збірних систем зовнішніх стін з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor/ М.В. Тимофєєв, Г. В. Шамрина, Д. О. Хохрякова // Slovak international scientific journal. - 2020. - № 38, VOL.1. - Pp. 19- 26.
14. Farenyuk Gennadiy. Research on Calculation Methods of Building Envelope Thermal Characteristics / Gennadiy Farenyuk, Olena Filonenko, Volodymyr Datsenko // International Journal of Engineering & Technology. Vol. 8, № 4.8, (2018), pp. 97-102.
15. Ge, H. Impact of balcony thermal bridges on the overall thermal performance of multi-unit residential buildings: A case study / Ge, H., McClung, V. R., & Zhang, S. // Energy and Buildings. 2013, 60, 163-170

УДК 622.8

Є.С. РУДНЄВ, канд. техн. наук, доц., В.А. ГАЛЬЧЕНКО, аспір.,
 Е.М. ФІЛАТЬЄВА, д-р філос. наук, ст. викл., М.І. АНТОЩЕНКО, д-р техн. наук, проф.
 Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

СІРКА У ВИКОПНОМУ ВУГІЛЛІ ЯК ФАКТОР ПРОЯВУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШАХТОПЛАСТІВ

Мета. Розробити спосіб визначення сукупностей шахтопластів, що відрізняються між собою вмістом сірки в органічній та мінеральних частинах вугілля та довести можливість та необхідність використання результатів цих досліджень для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів.

Методи дослідження. Методика заснована на попередньому розгляді співвідношення вмісту загальної сірки та сірки в горючій масі, а потім їх перерахунку із сухого стану на стан, близький до умов ведення гірничих робіт із залученням вологості вугілля та виходу золи для пластових (незбагачених) та збагачених проб. Такий підхід дозволив отримати додаткову інформацію щодо впливу процесів підготовки проб вугілля для їх аналізу на сухий беззольний стан палива та встановити вплив цих процесів на вміст сірки в органічній масі та мінеральних домішках, що необхідно для достовірного прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів.

Наукова новизна. Вміст загальної сірки в органічній масі та мінеральних домішках, не дорівнює в загальному випадку, сумі її вмісту в горючій та негорючій частинах. Згідно з експериментальними даними, можливе будь-яке співвідношення між цими показниками для окремих шахтопластів.

Практичне значення. Різні співвідношення між вмістом сірки в органічній масі та мінеральних домішках у порівнянні з її вмістом у горючій та негорючій частинах дозволяють за цими ознаками проводити градацію шахтопластів за ступенем можливого прояву ними небезпечних властивостей, що необхідно для вдосконалення нормативної бази щодо безпечного ведення гірничих робіт.

Результати. Випадковий вміст сірки в органічній масі та мінеральних домішках вугілля окремого шахтопласту є однією з причин фактичного співвідношення між основними компонентами органічної маси та мінеральних домішок, що визначають значною мірою прояв небезпечних властивостей шахтопластів під час гірничих робіт. Наведені в нормативно-довідкових документах з якості палива значення основних компонентів на горючий стан адекватно відображають споживчі властивості вугілля, але не відповідають їх стану в зоні ведення гірничих робіт через наявність мінеральних домішок і вологи. У сучасних нормативних документах щодо безпечного ведення гірничих робіт не розглядаються показники стану вугілля, наведеного до його вихідного (робочого) стану.

Ключові слова: вугілля, стан, сірка, небезпечні властивості, нормативна база, удосконалення.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-21-28

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Сірка міститься у всіх видах твердого палива в якості різних сполук, що входять до органічної та мінеральної частини палива. У мінеральній масі вугілля зустрічається, головним чином, у вигляді сульфатів (в основному кальцію та заліза) та дисульфідів заліза, в органічній масі - у вигляді органічних сполук.

Сумарний вміст в органічній та мінеральній масах вугілля називають загальною (S_t). Розрізняють три основні різновиди (форми) сірки вугілля: сірка сульфатна S_{SO_4} - частина загальної сірки вугілля, що входить до складу неорганічної маси вугілля у вигляді сульфатів металів; сірка піритна S_p - частина загальної сірки, що входить до складу неорганічної маси вугілля у вигляді дисульфідів металів (піриту та марказиту); сірка органічна S_o - частина загальної сірки, що входить до складу органічних сполук. Відомий четвертий різновид сірки у вугіллі - сірка елементарна, але її зазвичай не визначають через незначний вміст [1]. Загальну сірку та її різновиди умовно перераховують на елементну сірку

$$S_t = S_{SO_4} + S_p + S_o. \quad (1)$$

Сірка небажана та шкідлива частина палива. При спалюванні вугілля вона виділяється у вигляді SO_2 , забруднюючи та отруюючи навколишнє середовище та викликаючи корозію металевих поверхонь, зменшує теплоту згоряння палива, а при коксуванні переходить у кокс, погіршуючи його властивості. Вибір шляхів використання вугілля багато в чому залежить від вмісту в них загальної сірки та її різновидів. Форми знаходження сірки визначають для повної характеристики високосірчистих та високозольних палив.

Аналіз досліджень і публікацій. Вміст сірки у вугіллі визначає як якість його споживчих властивостей, а й істотно впливає на безпеку ведення гірничих робіт. Прояв небезпечних властивостей вугільних шахтопластів полягають у виділенні вибухонебезпечних газів, раптових

викидів вугілля та газу, виникненні самозаймання вугілля, вибуховості вугільного пилу та деяких інших негативних явищах, які у багатьох випадках закінчуються аваріями з важкими наслідками для працюючих [2-4]. Зокрема при збільшенні вмісту у вугіллі загальної сірки від 1 до 6% зростає ймовірність виникнення ендогенної пожежі більш ніж утричі [5]. Вплив видів та форм знаходження сірки у вкопному вугіллі на прояв небезпечних властивостей шахтопластів, на відміну від їх впливу на споживчі якості вугілля, в даний час залишаються практично не вивченими. Деякі винятки з цього правила є використання показника загальної сірки для прогнозу ймовірності виникнення ендогенних пожеж у вугільних шахтах [6]. З цієї причини дослідження, пов'язані із встановленням впливу вмісту сірки в органічній та мінеральній частинах вкопного вугілля на прояв небезпечних властивостей шахтопластів під час гірничих робіт відносяться до актуальної проблеми вугільної промисловості.

Постановка задачі. Розробити спосіб визначення сукупностей шахтопластів, що відрізняються між собою вмістом сірки в органічній та мінеральних частинах вугілля та довести можливість та необхідність використання результатів цих досліджень для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів.

Викладення матеріалу та результати. Ідея полягає у використанні та науковому обґрунтуванні застосування експериментальних даних для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів, накопичених протягом кількох десятиліть для оцінки споживчих якостей вугілля та наведених у нормативно-довідкових документах [7, 8].

Методика заснована на попередньому розгляді співвідношення вмісту загальної сірки та сірки в горючій масі, а потім їх перерахунку із сухого стану на стан, близький до умов ведення гірничих робіт із залученням вологості вугілля та виходу золи для пластових (незбагачених) та збагачених проб. Такий підхід дозволив отримати додаткову інформацію щодо впливу процесів підготовки проб вугілля для їх аналізу на сухий беззольний стан палива та встановити вплив цих процесів на вміст сірки в органічній масі та мінеральних домішках, що необхідно для достовірного прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів.

Методика проведення досліджень обумовлена способами визначення значень сірки в органічних та мінеральних складових вугілля. Відомі кілька методів визначення загальної сірки – від класичного гравіметричного методу Ешка до сучасних інструментальних методів аналізу. В основі цих методів лежить реакція окиснення всіх форм сірки до оксидів з подальшим визначенням їх різними способами [1].

Метод Ешка заснований на спалюванні навіски вугілля шляхом спікання із сумішшю оксиду магнію та безводного вуглекислого натрію в окислювальній атмосфері при $(800 \pm 25)^\circ\text{C}$. У цих умовах відбувається згоряння органічної маси палива і перетворення сірки на сульфати натрію і магнію. Сульфати переводять у розчин із наступним осадженням. По масі осаду розраховують вміст сірки у навісці вугілля.

Стандартні методи визначення форм сірки засновані на різній розчинності сполук сірки в розчинах соляної та азотної кислот у певних умовах: сульфати розчиняються в соляній та азотній кислотах, пірити не розчиняються в соляній кислоті, але розчиняються в азотній, а органічні сполуки сірки не розчиняються ні в соляній, ні в азотній кислотах. Вміст сульфатної сірки у вугіллі невеликий й зазвичай становить 0,1-0,2% [1].

Різновид органічної сірки вивчений недостатньо, тому що відсутні методи виділення органічних сполук із вугілля. Умовно за вміст органічної сірки приймають різницю між вмістом загальної сірки та сумою сульфатної та піритної на підставі рівняння 1. Органічну сірку зазвичай відносять до елементного складу органічної маси вугілля і розглядають спільно з вмістом кисню, водню, азоту та вуглецю. Слід мати на увазі, що азот, органічна сірка та пластометричні показники відносяться суто до органічної маси аналітичної проби. Аналітична проба зазвичай характеризується крупністю 0-0,2 мм (-212 мкм) та повітряно сухим станом [1].

У довідково-нормативних документах [4, 5] наведено відомості про загальну сірку та сірку в горючій масі вугілля. Основними елементами горючої маси є вуглець (C_r), водень (H_r), сірка (S_r), азот (N_r) та кисень (O_r). Їхня сума, як правило, становить понад 98-99% горючої маси. З цієї причини дані у довідково-нормативних документах [7, 8] наведені за умови $\Sigma C_r, H_r, S_r, N_r, O_r = 100\%$.

Крім сірки (S_r) у довідково-нормативних документах [7, 8] наведено також дані про вміст

загальної сірки у горючій масі (S_t^d). В даному випадку представлені відомості [7, 8] про загальну сірку (S_t^d) у паливі та в її горючій масі (S_r). Отже, є негорюча частина сірки (S^h), яка залишається в золі після згоряння палива. Загальну сірку в паливі можна уявити як її суму горючої та негорючої частин

$$S_t^d = S^r + S^h. \quad (2)$$

Паралельно з таким співвідношенням загальну сірку палива можна уявити також сіркою, що міститься відповідно в органічній масі (S_o) та мінеральних домішок (S_{SO_4}, S_p). На підставі залежностей 1 та 2 слід очікувати приблизну рівність між їхніми правими частинами

$$S_{SO_4} + S_p + S_o \approx S^r + S^h. \quad (3)$$

У першому приближенні в деяких випадках розглядають приблизну рівність $S^r \approx S_o$. Таке умовне припущення зроблено виходячи з того, що більшість органічної маси палива є горючою. Близькість значень між S_r та S_o визначається кількістю негорючих речовин в органічній масі та залежить від виходу золи (A^c) при спалюванні палива. Чим менше значення A^c , тим меншою мірою відрізняються між собою значення S_r та S_o . Теоретично рівність між показниками на практиці досягти неможливо, оскільки при спалюванні твердого палива завжди є сухий залишок у вигляді золи.

Аналогічна ситуація спостерігається із горючістю мінеральних домішок. Якщо значення S_r та S_o близькі між собою, то вочевидь виходячи із рівності 3, та значення S^h мало буде відрізнятися від суми S_{SO_4} та S_p . У мінеральних домішках, крім негорючих речовин, завжди присутні горючі. Таким чином, при дотриманні приблизної рівності 3 для вугілля всіх шахтопластів, не завжди буде дотримуватися рівності $S^r = S_o$ та $S^h = S_{SO_4} + S_p$. Приблизна рівність $S^r \approx S_o$ для даних S_r , наведених у нормативно-довідкових документах [7, 8], забезпечується попереднім збагаченням проб до зольності (A^c) менше 10% [1] і подальшим розглядом показників на сухий беззольний стан вугілля (daf). У цьому випадку ігнорується фактична присутність мінеральних домішок у паливі, а отже, не розглядається фактичний вміст сірки у природних умовах. Знаходження сірки у видалених при збагаченні мінеральних домішках немає істотного значення для визначення споживчих властивостей вугілля, але знання її вмісту необхідне для прогнозу прояву небезпечних властивостей шахтопластів під час гірничих робіт.

Враховуючи різні методики визначення загальної сірки згідно з рівняннями (1) і (2) слідує, що в загальному випадку значення S_t не може однозначно дорівнювати S_t^d . Можливі три варіанти співвідношення між ними:

1. $S_t = S_t^d$. Цьому варіанту відповідає рівності $S_o = S^r$ та $S_{SO_4} + S_p = S^h$. Вміст загальної сірки (S_t) визначають у відсотках по відношенню до суми органічної маси (M_o) та мінеральних домішок (M_{II}). Вміст загальної сірки в паливі (S_t^d) розраховується по її відношенню до суми горючої маси (Γ) та золи (A^c). Для розглянутого варіанта це означає що

$$\frac{S_t}{M_o + M_{II}} = \frac{S_t^d}{\Gamma + A^c}, \text{ або } S_t(\Gamma + A^c) = S_t^d(M_o + M_{II}). \quad (4)$$

Для розглянутого варіанта рівність S_t та S_t^d можливе лише за умови $\Gamma + A^c = M_o + M_{II}$. Воно дотримується, якщо горюча частина (Γ) дорівнює органічній масі (M_o), а вихід золи (A^c) - мінеральним домішкам (M_{II}). Вихід золи в збагачених пробах вугілля явно не може дорівнювати вмісту мінеральних домішок, тому що їх частина видаляється при збагаченні проб до значень золи, як правило, менше десяти відсотків. Практично приблизна рівність $S_t \approx S_t^d$ може виконуватися в окремих випадках тільки для шахтопластів з малозольним вугіллям ($A^c < 10\%$) або збагачених до аналогічного рівня та низьким виходом золи.

2. $S_t < S_t^d$. Для цієї нерівності справедливе співвідношення

$$\frac{S_t}{M_o + M_{II}} < \frac{S_t^d}{\Gamma + A^c}, \text{ або } S_t(\Gamma + A^c) < S_t^d(M_o + M_{II}). \quad (5)$$

В усіх випадках дотримується приблизна рівність органічної маси (M_o) і горючої складової вугілля (Γ), тобто $M_o \approx \Gamma$. Внаслідок цього висока ймовірність виконання нерівності (5) спостерігатиметься, якщо вихід золи (A^c) свідомо нижче вмісту мінеральних домішок (M_{II}). Співвідношення $A^c < M_{II}$ гарантовано для усіх випадках аналізу збагачених проб, оскільки при збагаченні видаляється частина мінеральних домішок з допомогою чого знижується вихід золи. Наприклад, зольність пластової проби може перевищувати 40%, а після збагачення вихід золи становить, у більшості випадків менше 10% [7, 8]. Це свідчить, що в процесі збагачення видаляється значна частина мінеральних домішок, а разом з ними і деяка частина сірки в цих домішках.

3. $S_t > S_t^d$. Цій нерівності відповідає вираз

$$S_t (\Gamma + A^c) > S_t^d (M_o + M_{II}) \quad (6)$$

Якщо умовно $\Gamma \approx M_o$, то для дотримання нерівності необхідно, щоб $A^c > M_{II}$. Таке співвідношення неможливе через вихід золи з мінеральних домішок у вигляді деякої її частини (негорючого залишку), що у всіх випадках визначає співвідношення $M_{II} \geq A^c$. Отже, приблизна рівність між Γ та M_o може не дотримуватися, а додатковою горючою масою є деяка частина мінеральних домішок, видалених при збагаченні. Чим більше значення виходу золи з вугілля пластової проби, тим вища ймовірність нерівності $S_t > S_t^d$.

З наведеного аналізу слідує, що в реальних умовах відпрацювання вугільних шахтопластів можливий будь-який варіант співвідношення між S_t та S_t^d , що не враховується чинними нормативними документами щодо безпечного ведення гірничих робіт.

У нормативно-довідкових документах [7, 8] наведено загальну сірку S_t^c , значення якої відображають її вміст у сухій пластовій пробі вугілля при виході золи A^c . Вихід золи A^c відповідає певному вмісту в органічній масі та мінеральних домішках негорючих речовин. Відомо також [7, 8] для вугілля кожного шахтопласту вміст сірки S_t в горючій частині.

Взаємозалежність між ними S_t^c та S_t показує прямо-пропорційний зв'язок між ними (рис. 1). На підставі даних, наведених в обох джерелах [7, 8], встановлено тісну кореляційну залежність. Коефіцієнти кореляції (r) відповідно дорівнюють 0,99 та 0,88. Близькі між собою та коефіцієнти регресії рівнянь (1). Вони відповідно дорівнюють 0,88 і 0,92, що свідчить про відсутність важливих відмінностей експериментальних даних, наведених у різних джерелах.

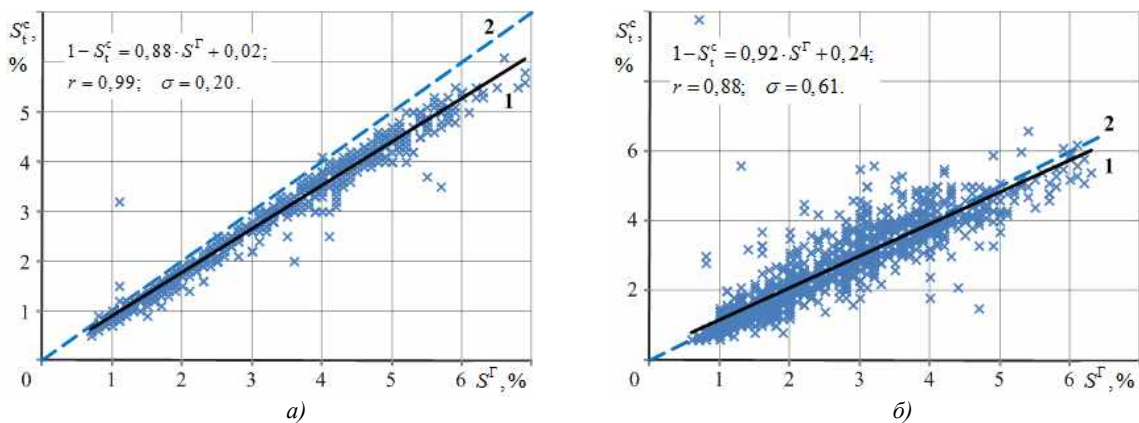


Рис. 1. Взаємозалежність між значеннями загальної S_t^c та сірки горючої частини S_t для шахтопластів згідно даних відповідно [7] (а) та [8] (б): 1 - усереднюючі прямі; 2 - бісектриси координатних сіток; x - експериментальні дані; r - коефіцієнти кореляції; σ - середньоквадратичні відхилення

Різниця між S_t та S_t^c для окремих шахтопластів обумовлена як різним співвідношенням вмісту між органічною масою та мінеральними домішками, так і відмінностями між горючими та негорючими складовими палива. Бісектриси координатних сіток (2) відповідає першому гіпотетичному варіанту співвідношення, коли горюча частина палива знаходиться тільки в органічній речовині ($S^f = S_o$), а негорюча (S^H) дорівнює мінеральним домішкам ($S_{SO_4} + S_p$). Виходячи із значень коефіцієнтів регресії рівнянь (1), відповідно 0,88 (рис. 1а) і 0,92

(рис. 1б), які менше одиниці слідує, що в більшості випадків такий варіант співвідношення між аналізованими параметрами на практиці малоімовірний. З цієї причини умовна рівність між горючою частиною палива та органічною масою на підставі експериментальних даних [7, 8] не підтверджується. Не дотримується також відповідність негорючої частини палива до її мінеральних домішок. Різне можливе співвідношення між показниками вмісту органічної маси, мінеральних домішок, горючою та негорючою частинами палива, визначає випадковість співвідношення між S_t^c та S_T для окремих шахтопластів. Це підтверджується розташуванням індивідуальних експериментальних даних для шахтопластів як вище, так і нижче усереднюючих прямих (1) і бісектрис (2) координатних сіток (рис. 1а, б). В більшості випадків (728 з 734) дотримується нерівність $S_t^c < S^T$ і лише для шести шахтопластів відповідно [7] спостерігалось співвідношення $S_t^c \geq S^T$ (табл. 1).

Таблиця 1

Відомості про шахтопласти [7], для вугілля якого вміст загальної сірки (S_t^c) дорівнює або перевищує вміст сірки в горючій масі (S_T)

Шахта	Пласти		Зольність, %		Вміст сірки, S_t^c , %	Елементний склад на горючу масу, %				
	найменування	геолог. символ	пластової проби	збагаченої проби		C_T	H_T	S_T	N_T	O_T
№ 4-21	Смоляннівський	h_7	6,5	—*	1,0	85,9	5,3	1,0	1,5	6,3
№ 11 Рау	Рау	m_3	17,0	3,7	3,2	89,3	4,7	1,1	1,6	3,3
№ 1 Великокомос-тівська	Сокальський	n_7^H	15,3	6,8	4,1	81,7	5,4	4,0	1,2	6,7
№ 4-6	Подремовський	h_2^1	20,0	15,8	2,5	92,4	2,1	2,5	1,2	1,8
№ 12 Західна	Алмазний	l_3	17,2	—	1,5	94,8	2,2	1,1	1,2	0,7
№ 60	Блазовський	i_3	4,5	—	1,2	95,8	1,5	1,2	1,0	0,5

Примітка: * - проби не збагачувалися

Методики визначення всіх показників споживчих властивостей вугілля [7, 8] базуються на видаленні деякої негорючої частини та зайвої вологи. З цієї причини практично всі показники наведено на сухий беззольний стан, що не відповідає стану вугілля у зоні ведення гірничих робіт. Наявність експериментальних даних [7, 8] про вологість вугілля (W) та вихід золи (A^c) надали можливість перерахувати значення S_T на робочий стан вугілля (S_t^r) по залежності [1, 9]

$$S_t^r = S^T \cdot \frac{100 - (W + A^c)}{100} \quad (7)$$

Отримані значення порівняли із вмістом загальної сірки S_t^c (рис. 2), наведеними у довідниках [7, 8]. Попередній аналіз показує, що таке співвідношення може спостерігатися для шахтопластів з різним ступенем метаморфізму вугілля (зміна C_T від 81,7 до 95,8%) та з різним виходом золи для пластових та збагачених проб. Умови виникнення розглянутого співвідношення між S_t^c та S_T вимагають залучення для аналізу значень всіх компонентів, що входять як у горючу, так і негорючу частину палива. Вирішення цього завдання потребує окремого розгляду із залученням необхідної кількості статистичних даних. Її можна вирішити з використанням відомостей [8], що підтверджується розташуванням значної кількості експериментальних даних вище бісектриси 1 координатної сітки (рис. 1б).

В обох випадках прямі 1 розташовані вище бісектрис 2 координатних сіток, що вказує на вплив вологи (W) при перерахунку палива з його сухого на робочий стан. Виходячи з розташування усереднюючих прямих (1) (коефіцієнти регресії 1,19 та 1,22) і бісектрис 2 координатних сіток слідує, що в середньому волога впливає на значення загальної сірки більше 20%. Якщо взяти до уваги правило "трьох сигм", то індивідуальний вплив вологи для окремих шахтопластів можна оцінити приблизно на 60%. Це свідчить, що для оцінки прояву небезпечних властивостей шахтопластів, крім наявності мінеральних домішок, для уникнення значних похибок необхідно враховувати і фактичну вологість вугілля в зоні ведення гірничих робіт.

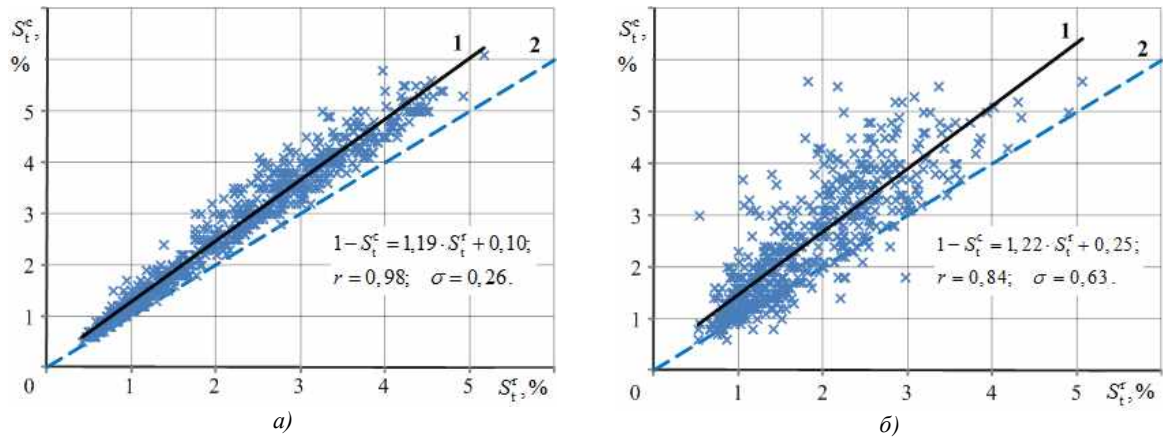


Рис. 2. Взаємозалежність між експериментальними значеннями вмісту загальної (S_t^c) та значеннями загальної сірки (S_t^r), які перераховані на робочий стан палива для шахтопластів згідно даних відповідно [7] (а) та [8] (б): 1 - усереднюючі прямі; 2 - бісектриси координатних сіток; × - індивідуальні співвідношення між експериментальними даними S_t^c та перерахованими значеннями S_t^r на робочий стан палива S_t^r ; r - коефіцієнти кореляції; σ - середньоквадратичні відхилення

Встановлено [10] досить тісні кореляційні залежності між основними компонентами органічної (горючої) маси від ступеня метаморфічних перетворень вугілля. Одним з основних показників метаморфізму вугілля є вміст вуглецю в органічній масі або горючій частині палива. Він однозначно контролює суму інших компонентів (водень, азот, сірка, кисень). З посиленням впливу метаморфічних перетворень вміст вуглецю зростає в односторонньому порядку, а сума інших компонентів знижується у зворотно-пропорційній залежності. Зменшення окремих складових компонентів органічної (горючої маси) відбувається не так однозначно як їх суми, а характер зміни вмісту сірки від ступеня метаморфізму до теперішнього часу не встановлено.

Вміст вуглецю в горючій масі палива (C_r) є одним із основних показників ступеня метаморфізму вугілля. На цій підставі розглянули зміну вмісту сірки (S_r) у горючій частині (рис. 3). Аналогічні результати відсутності кореляційних залежностей отримані між загальною сіркою (S_t^c) та вмістом вуглецю (C_r) у горючій частині (рис. 4), а також між вмістом сірки (S_t^r) та вуглецем (C^r), перерахованих на робочий стан (рис. 5).

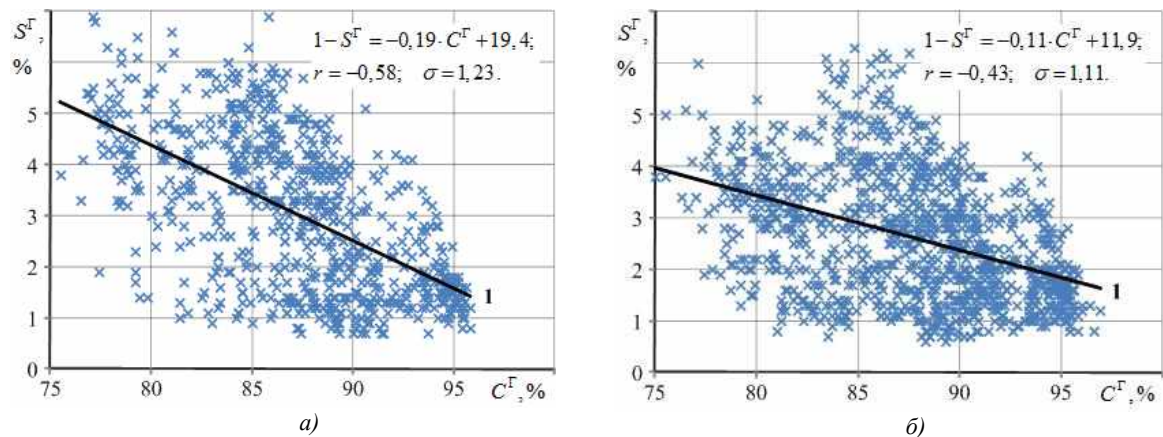


Рис. 3. Залежність вмісту сірки (S_r) від вуглецю (C_r), у горючій частині палива згідно даних [7] (а) та [8] (б): 1 - усереднюючі прямі; × - експериментальні дані; r - коефіцієнти кореляції; σ - середньоквадратичні відхилення

Враховуючи тісні кореляційні залежності (рис. 1) між експериментальними даними [7, 8] загальної сірки S_t^c та сіркою S_r в горючій частині ($r = 0,99$ та $0,88$) та практична відсутність кореляційних зв'язків із вмістом вуглецю (рис. 3 та 4) слідує, що й вміст сірки в негорючій частині (S^H) не може значною мірою залежати від ступеня метаморфічних перетворень шахтопластів.

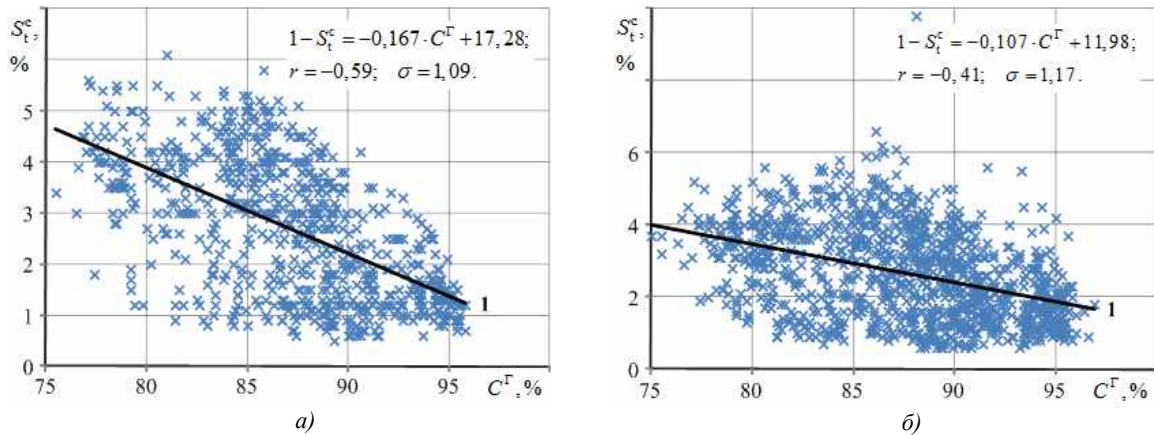


Рис. 4. Залежність вмісту загальної сірки (S_t^c) від вуглецю в горючій частині палива (C^r) згідно даних відповідно [7] (а) та [8] (б): 1 - усереднюючі прямі; × - експериментальні дані; r - коефіцієнти кореляції; σ - середньоквадратичні відхилення

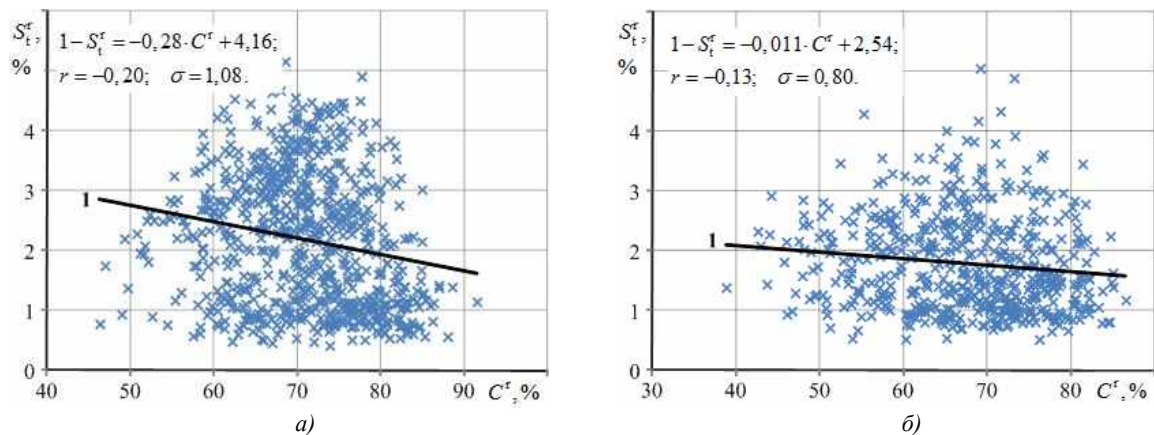


Рис. 5. Залежність вмісту загальної сірки (S_t^c) від вуглецю (C^r), що перераховані на робочий стан згідно даних відповідно [7] (а) та [8] (б): 1 - усереднюючі прямі; × - значення, що перераховані на робочий стан палива; r - коефіцієнти кореляції; σ - середньоквадратичні відхилення

Таким чином значення вмісту сірки в горючій та негорючій частинах палива не залежать від ступеня метаморфічних перетворень і мають випадковий характер. Враховуючи неоднозначні співвідношення між горючою частиною та органічною масою, негорючою частиною та мінеральними домішками, слідє наявність фактора випадковості вмісту сірки для окремого розглянутого шахтопласту, як в органічній масі, так й у мінеральних домішках.

Розглядаючи можливі прояви небезпечних властивостей шахтопластів при веденні гірничих робіт, необхідно враховувати залежність основних компонентів органічної (горючої) маси, крім вмісту сірки, від ступеня метаморфічних перетворень. Випадковий вміст сірки в органічній масі та мінеральних домішках у вугіллі окремого шахтопласту є однією з причин зміни співвідношення між основними компонентами органічної маси та мінеральних домішок, що визначають значною мірою прояв небезпечних властивостей шахтопластів.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Для вдосконалення нормативної бази щодо безпечного ведення гірничих робіт необхідно враховувати висновки, отримані на підставі проведених досліджень. Вони зводяться до наступного:

наведені в нормативно-довідкових документах значення основних компонентів на горючій стан палива адекватно відображають споживчі властивості вугілля, але не відповідають їх стану в зоні ведення гірничих робіт через наявність мінеральних домішок та вологи;

вміст загальної сірки в органічній масі та мінеральних домішках (S_t), у загальному випадку, не дорівнює сумі її вмісту в горючій та негорючій частинах (S_t^d). Згідно з експериментальними даними можливе будь-яке співвідношення між цими показниками для окремих шахтопластів: $S_t = S_t^d$, $S_t < S_t^d$ та $S_t > S_t^d$. За вказаними ознаками можлива градація шахтопластів за ступенем прояву ними небезпечних властивостей при веденні гірничих робіт;

вплив вологи на вміст загальної сірки, при перерахунку палива із сухого стану на робочий, оцінюється в середньому більш ніж у 20%, а максимальний вплив для окремих шахтопластів може перевищувати 60%;

вміст сірки в горючій та негорючій частинах палива, органічній масі та мінеральних домішках практично не залежить від ступеня метаморфічних перетворень шахтопластів. Можна лише констатувати деяку спрямованість зниження вмісту сірки з посиленням ступеня метаморфічних перетворень.

Список літератури

1. **Авгушевич І.В., Сидорук Е.И., Броновец Т.М.** Стандартные методы испытания углей. Классификации углей. М.: «Реклама мастер», 2019. 576 с.
2. **Onifade, M., and B. Genc.** A review of research on spontaneous combustion of coal. International Journal of Mining Science and Technology, 2020, 30(3), 303-311.
3. **Nosal, D., Kononov S., Shevchenko V.** Determination the injuries probability of coal mines workers. Mining of mineral deposits, 2021, 15(2), 47-53.
4. **Tarasov, V., Antoshchenko, M., Rudniev, Y., Zolotarova, O., Davidenko, N.** Metamorphism indicators for establishing the endogenic fire hazard of coal mining plants in mining. International Journal of Environmental Science and Development this link is disabled, 2021, 12(8), 242-248.
5. **Греков С.П., Всякий А.А.** Влияние содержания серы в углях на вероятность их самовозгорания / Уголь Украины. 2014. № 4. С. 18-21.
6. Руководство по предупреждению и тушению эндогенных пожаров на угольных шахтах Украины: КД 12.01.402 - 2000. Донецк : НИИГД. 2000, 216 с.
7. Справочник по качеству и обогатимости каменных углей и антрацитов Украинской ССР (Донбасс в границах УСССР, Львовско-Вольнский бассейн). Характеристика качества каменных углей и антрацитов Украинской ССР. М.: Недра. 1965. 204 с.
8. Справочник по качеству каменных углей и антрацитов Донецкого и Львовско-Вольнского бассейнов. Донецкий научно-исследовательский угольный институт. М.: Недра. 1972. 168 с.
9. ГОСТ 27313-95 (ИСО 1170-77) Межгосударственный стандарт. Топливо твердое минеральное Обозначения показателей качества и формулы пересчета результатов анализа для различных состояний топлива. Издание официальное. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск. 2003. 15 с.
10. **Antoshchenko M., Tarasov V., Zakharova O., Zolotarova O., Petrov A.** Analysis of metamorphism and tendency of black coals to spontaneous combustion. Technology audit and production reserves, 2019, 1(50), 18-25

УДК 669.162.267.6

О.С. ВОДЕННИКОВА, канд. техн. наук, доц., Запорізький національний університет
Л.В. ВОДЕННИКОВА, асист., Запорізький державний медичний університет
Д.Ю. БАБОШКО, канд. техн. наук, ст. викл., Криворізький національний університет
П.В. ГОЛОВКОВ, студ., Запорізький національний університет

ПОЗАДОМЕННА ДЕСУЛЬФУРАЦІЯ ЧАВУНУ: ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ, СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА АНАЛІТИЧНО-РОЗРАХУНКОВА ОБРОБКА ПОКАЗНИКІВ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ

Мета. Метою роботи є аналіз досвіду сучасних технологій позадоменної десульфуратії чавуну та на їх основі аналітично-розрахункова обробка відомих експериментальних та розрахункових даних показників десульфуратії чавуну.

Поставлена мета в роботі вирішується наступними завданнями: визначити найбільш техніко-економічно ефективні реагент-десульфуратори для позадоменної десульфуратії чавуну; проаналізувати сучасні методи позадоменної десульфуратії чавуну; на основі відомих експериментальних та розрахункових даних запропонувати аналітично-розрахункову обробку показників десульфуратії чавуну.

Методи досліджень. При узагальненні та аналізі науково-технічної літератури з напрямку сучасного огляду українського та закордонного досвіду позадоменної десульфуратії чавуну використовувався комплексний підхід. Аналітично-розрахункова обробка відомих експериментальних та розрахункових даних залежності ступеня використання магнію на десульфуратію чавуну від концентрації сірки в металі при застосуванні в якості реагент-десульфуратору гранульованого магнію марки МГП-99 (згідно з ТУ 1714-004-43055164-2004) та суміші гранульованого магнію й флюїдизованого вапна (згідно з ТУ У 26.5-00193714-042-2001) проводилася кореляційно-регресійним методом в програмі Excel (з оцінкою коефіцієнту детермінації).

Наукова новизна. Показано залежність ступеня використання магнію на десульфуратію чавуну (на прикладі

природно-легованого та переробного чавунів) від концентрації сірки в металі при застосуванні в якості реагент-десульфуратора гранульованого магнію та суміші гранульованого магнію й флюїдизованого вапна. Здобула подальший розвиток аналітично-розрахункова обробка відомих експериментальних та розрахункових даних з оцінкою коефіцієнту детермінації, що показує на можливості збільшення ступеня використання магнію на десульфурацію чавуну до 90 %.

Практичне значення. Результати теоретичного аналізу ефективності сучасних технологій позадоменної десульфурації чавуну можуть бути використані при викладанні спеціальних дисциплін для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 136 «Металургія».

Результати. Показано можливості українських та закордонних металургійних підприємств при використанні різних реагент-десульфураторів для позадоменної десульфурації чавуну досягти ступеня десульфурації чавуну в межах 50–99 % та вмісту сірки після десульфурації до 0,005 %.

Ключові слова: десульфурація чавуну, реагент-десульфуратор, ступінь десульфурації, ступінь використання магнію на десульфурацію.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-28-35

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Потенціал гірничо-металургійного комплексу України базується на наявності достатньої власної сировинної бази, великої кількості виробничих потужностей та високим рівнем науково-технічного потенціалу [1]. При цьому на металургійних підприємствах найважливішими завданнями є оптимізація технології отримання металу для забезпечення економічно-обґрунтованих та конкурентоспроможних на світовому ринку металопродукції якісних марок сталі, зниження енергетичних і матеріальних витрат на виробництво [2].

На сьогодні в умовах доменного виробництва не завжди можливо забезпечити стабільне отримання якісного чавуну при одночасному збереженні високої продуктивності та економічності процесу. Тому все більш широке застосування для підвищення якості переробного чавуну отримує позапічне рафінування, що забезпечує виплавку високоякісних сталей з вмістом сірки менше 0,01 % [3]. Так позадоменна десульфурація дає змогу використовувати для виробництва чавуну не лише вугілля з високим вмістом сірки, а й дешеву низькосортну високосірчасту руду, хоча і призводить до подорожчання 1 тонни чавуну [4]. Процес позадоменної десульфурації чавуну підпорядковується тим же термодинамічним закономірностям, що і процес десульфурації в доменній печі [5]. Використання технологічних комплексів «установка десульфурації чавуну – сталеплавильний агрегат» та «установка десульфурації чавуну – сталеплавильний агрегат – установка «під-ківш»» стає все більш пріоритетними шляхами для отримання низькосірчастої сталі [6, 7].

Тому проблема аналізу механізму десульфурації металу при використанні різних реагент-десульфураторів, зокрема пошук шляхів підвищення ефективності використання магнію для позадоменної десульфурації чавуну залишається актуальним напрямком досліджень в металургійному виробництві.

Аналіз досліджень і публікацій. Найбільш популярними у всьому світі методами десульфурації чавуну є процес «Kanbara Reactor» (в якості реагенту використовується тільки вапно), процес «Ukraine Desmag» (моновприск магнію) та процес «Co-injection» (процес спільної інжекції магнію та вапна або карбиду кальцію).

У процесі «Kanbara Reactor» (Японія) (рис. 1а) вапно використовується в якості основного реагент-десульфуратору, іноді вводять CaF_2 (близько 10 % потоку) і/або додають Al_2O_3 . Реагент або вводять в чавун через обертові фурми разом з газом-носієм (зазвичай азотом), або додають зверху.

У процесі «Ukraine Desmag» гранульований магній вводять через фурму (рис. 1б). Тонкий шар шлаку (у порівнянні з процесами «Kanbara Reactor» та «Co-injection») призводить до збільшення втрат заліза під час відкачування шлаку. Для того щоб стабілізувати шлак та уповільнити процес десульфурації на більшості металургійних підприємств в верхню частину шлаку додають вапно або флюс. Процес моновприску магнію є дуже швидким завдяки використанню в якості реагент-десульфуратору магнію, але не дає змоги досягти вмісту сірки менше 0,005 % та є шкідливим і високо небезпечним для виробничого середовища.

Процес «Co-injection» (рис. 1в) поєднує в собі переваги вище зазначених методів. Так застосування магнію дозволяє швидко видалити сірку, а вапна – досягти малих значень концентрації сірки. Вапно іноді замінюють карбідом кальцію, який є більш ефективним, але через про-

блеми безпеки виробничого середовища цей варіант практично не використовується на нових металургійних підприємствах. Процес спільної ін'єкції магнію та вапна є гнучким та рентабельним, тому розглядаються як стандартна практика у світі киснево-конверторного виробництва сталі [8].

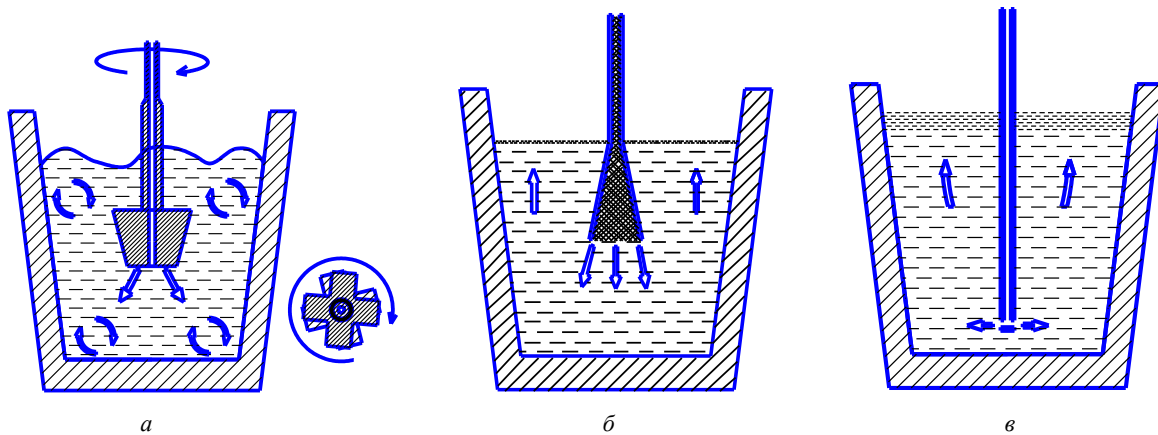


Рис. 1. Сучасні методи ковшової десульфурзації чавуну: *a* – процес Kanbara Reactor; *б* – процес Ukraina Desmag (з випарною камерою); *в* – процес спільної ін'єкції магнію та вапна (Т-подібна фурма)

Теоретичні основи десульфурзації базуються на хімічних реакціях між сіркою та реагентами, традиційними з яких (у порядку ефективності десульфурзації) є магній (Mg), карбід кальцію (CaC₂) та вапно (CaO) (табл. 1) [9].

На сьогодні магній є найбільш дорогим зі застосовуваних в промислових умовах реагент-десульфураторів та його використання дозволяє знижувати вміст сірки після десульфурзації до 0,005 % [10]. Зазвичай використовують для десульфурзації чавуну гранульований магній марок МГП-99 та МГС-99 (99,7–99,9 % Mg; до 0,04 % Fe; до 0,009 % Si, до 0,001 % Ni; до 0,02 % Al; до 0,03 % Mn; до 0,01 % Na; до 0,004 % Cu) [11].

При обробці магнієм десульфурация чавуну може протікати в результаті взаємодії пароподібного магнію з розчищеною в металі сіркою за реакцією [12]



а також шляхом розчинення магнію в чавуні



і подальшої взаємодії з сіркою в обсязі металу



Таблиця 1

Реагент-десульфуратори для позадоменної десульфурзації чавуну [9]

Гранульований магній та магнійвмісні суміші	Інші види сумішей
Шматки магнію зі спеціальними ізоляційними обмазками, що вмішують глину, рідке скло та оксиди	Суміш з обпаленого вапна (90 %), плавикового шпату (5 %) та нафтового коксу (5 %)
Гранульований магній в струмені природного газу	Шлаки позапічної обробки сталі
Суміш вапна та магнію	Ціанамід кальцію
Порошок магнію, покритий шаром, що складається з хлоридів натрію, калію, магнію та кальцію	Вдування флюсів на основі вапняку
Спосіб обробки чавуну введенням дроту, що вміщує в порошкоподібному стані магній та рідкоземельні метали	Суміш на основі оксиду кальцію, карбїду кальцію та карбонату кальцію. Кальцинована сода
Введення магнію сумісно з коксом	Карбід кальцію
Суміш магнію з карбїдом кальцію або алюмінієм та глиноземом	Вапно та вапняк
Суміш гранул магнію з гранульованим основним шлаком	Розкислення металу гранулами алюмінію

В металургійних умовах вапно доступно практично в необмежених кількостях, але основними його недоліками при використанні в якості реагент-десульфуратора для поза доменної десульфурзації чавуну є високі витрати (до 15 кг/т чавуну), великі втрати чавуну зі шлаком, який видаляється з ковша після обробки, та великі втрати температури чавуну.

Кальцинована сода (Na₂CO₃) також є порівняно дешевим реагентом, після обробки чавуну нею шлаки мають малу в'язкість, в результаті чого втрати чавуну з ковшовим шлаком практич-

но повністю відсутні [10]. Але при обробці содою в атмосферу виділяється значна кількість летючих речовин, тому цей метод вимагає обов'язкової наявності стендів, які обладнані добре діючими газозуловлюючими пристроями [13].

Карбід кальцію (CaC_2) є ефективним реагент-десульфуратором чавуну, застосування якого дозволяє знижувати вміст сірки в металі до $\leq 0,005\%$ [10].

Значний інтерес представляє для позадоменної десульфурації чавуну також і використання вторинних магнієвих сплавів. Так при заміні чистого магнію вторинним сплавом, що містить 12,2 % алюмінію, рівень використання магнію на десульфурацію чавуну збільшується з 35,8 до 46,6 % [14].

Дослідження роботи [15] показують можливість застосування екзотермічних брикетів, що містять магнезит, для десульфурації чавуну замість магнію. Авторами встановлено позитивний вплив на процес десульфурації чавуну використання пошарового складання брикетів із сумішей оксиду магнію з алюмінієм та оксиду заліза з алюмінієм, а також застосування у складі брикету до 10 % інертного наповнювача (металевої стружки).

В промислових умовах зазвичай використовують наступні способи введення реагент-десульфуратору для десульфурації чавуну [10]:

міксерна інжекція – глибоке вдування через фурму, футеровану вогнетривкими матеріалами, в сигароподібному чавунувозному ковші міксерного типу;

ківшева інжекція – глибоке вдування через фурму, футеровану вогнетривкими матеріалами, в заливальному чавунувозному ковші;

механічне перемішування – додавання реагент-десульфуратору з послідовним механічним перемішуванням.

Аналіз існуючих технологій позапічної десульфурації різними видами реагент-десульфураторів (табл. 2), представлений у роботі [16], показав, що найбільш ефективними є технології інжекції сумішей на основі одного магнію (ступінь десульфурації 95–99 %), суміші гранульованого магнію з вапном (ступінь десульфурації 95–98 %), технологія дугового глибинного відновлення (ступінь десульфурації 90–98 %), а також обробка екзотермічними брикетами (ступінь десульфурації 65–85 %). Автори зазначають, що більшість технологій пов'язані з використанням додаткового устаткування, розміщення якого потребує наявності вільного місця безпосередньо біля робочої ділянки для встановлення додаткового устаткування та проведення часткової модернізації виробничого циклу. Тому для виробництв, де використання зазначених вище технологій утруднене, запропоноване використання технології обробки розплаву екзотермічними брикетами та використання порошкового дроту з магнієм.

Постановка задачі. Метою роботи є аналіз сучасного досвіду технології позадоменної десульфурації чавуну та на їх основі аналітично-розрахункова обробка відомих експериментальних та розрахункових даних показників десульфурації чавуну.

Викладення матеріалу та результати. Ефективність результатів видалення сірки з розплаву визначається наступними показниками: концентрацією сірки в розплаві; швидкістю процесу десульфурації; коефіцієнтом розподілу сірки між шлаком і металом; ступенем десульфурації, ступенем використання реагент-десульфуратору на десульфурацію чавуну.

У роботі приведено аналітично-розрахункову обробку відомих експериментальних та розрахункових даних залежності ступеня використання магнію на десульфурації чавуну від концентрації сірки при застосуванні в якості реагент-десульфуратору гранульованого магнію та суміші гранульованого магнію й флюїдизованого вапна.

Обробку аналітичних залежностей проводили кореляційно-регресійним методом в програмі Excel з оцінкою коефіцієнту детермінації R^2 за допомогою логарифмічної регресії. Величина достовірності апроксимації відображала близькість значення лінії тренду до фактичних даних.

У роботах [12, 17] проаналізовано результати промислових досліджень десульфурації передільного та природно-легованого чавуну з використанням у якості реагент-десульфуратору гранульованого магнію. Аналіз теоретичних, лабораторних та промислових досліджень десульфурації чавуну магнієм показав, що змінення розчинності магнію у чавуні не має суттєвого впливу на ефективність десульфурації металу, при цьому при інжектуванні гранульованого магнію у чавун з використанням в якості газа-носія аргону або азоту підвищення ефективності використання десульфуратору може бути досягнуте в результаті зниження концентрації магнію у транспортувальному газі [12].

Порівняльний аналіз сучасних технологій позадоменної десульфурзації чавуну [16]

Технологія	Особливості технологічного процесу	Хімічний склад реагент-десульфуратору, %	Витрата реагент-десульфуратору, кг/т розплаву	Ступінь десульфурзації, %
Обробка твердими шлаковими сумішами	Вводять на поверхню розплаву при наповненні заливного ковша	CaO = 65–85; CaF ₂ = 10–25; Al = 5–10	15–20	30–75
Обробка рідкими синтетичними шлаками	Вводять в рідкому стані в ківш перед його наповненням	CaO = 50–65; SiO ₂ < 3; CaF ₂ < 10 Al ₂ O ₃ = 30–45; MgO = 3–5; FeO < 1;	10–50	60–80
Обробка Na ₂ CO ₃	Порошок Na ₂ CO ₃ вдувають в об'єм рідкого розплаву через фурму в потоці газу-носія	Na ₂ CO ₃ = 100	5–10	80–90
Обробка порошкоподібною сумішшю, що містить вапно	Суміш подають на поверхню розплаву, який перемішується роторною мішалкою та інертним газом	CaO = 90; CaF ₂ = 5; кокс = 5	5–10	60–80
Інжекція сумішей на основі вапна та магнію	Реагент інjektують в об'єм рідкого розплаву через фурму в потоці інертного газу-носія.	Mg = 30; CaO = 70	5–8	95–98
Інжекція сумішей на основі магнію	Гранульований магній, покритий солями натрію, інjektують в об'єм рідкого розплаву через фурму в потоці природного газу	Металевий магній = 100	0,3–0,5	95–99
Введення магнію в кусках	Куски магнію вводять у випарниках дзвоноподібної форми в об'єм рідкого розплаву	Металевий магній = 100	1,08,0	50–60
Обробка за технологією дугового глибинного відновлення	Активний реагент вводять у формі оксиду, який відновлюється безпосередньо в об'ємі розплаву за рахунок теплоти електричної дуги	Al = 15–25; MgO = 25–65; CaO = 25–50	1,53,0	90–98
Обробка магнієм, що відновлений за рахунок тепла суміжних хімічних реакцій у об'єм рідкого металевого розплаву.	Із суміші, що містять оксиди магнію, оксиди кальцію, оксиди заліза та металевий алюміній, формують брикети, які вводять у ківш при наповненні	MgO = 10–20; CaO = 5–10; Al = 20–30; FeO = 40–65	1,5–2,0	65–85
Обробка порошковим дротом	Порошковий дріт, що містить активний реагент, вводять безпосередньо в об'єм розплаву за допомогою трайбапарату	Mg = 78; CaC ₂ = 22	0,3–0,6	50–60

Результати залежності ступеня використання магнію на десульфуріацію природно-легованого хромонікелевого чавуну (електропічного феронікелю ТОВ «Побузький феронікелевий комбінат» (1,9–3,0 % С; 1,2–2,2 % Cr; 1,6–6,6 % Si; 3,9–6,0 % Ni; 0,2–0,4 % Co; 0,09–0,14 % P; 0,2–0,3 % Mn; 0,024–0,119 % S)) в 30-тонних заливальних ковшах при обробці гранульованим магнієм, який вводили в метал через фурму з випарною камерою з одночасною незалежною подачею в неї азоту [12, 17], описують модель «Logarithmic-X» (рис. 2, крива 1).

Запропонована нами аналітично-розрахункова обробка залежності ступеня використання магнію на десульфуріацію чавуну від концентрації сірки в металі показала можливість досягнення значення ступеня використання магнію в межах до 0,74 (рис. 2, крива 2). Отримана аналітично-розрахункова модель описує на 97,57 % лінію логарифмічної регресії (рис. 2, крива 3).

Результати обробки переробного чавуна з вдуванням повітря в випарну камеру та без нього показано на рис. 3, крива 1. Автори роботи [12] стверджують, що при більш високих значеннях вмісту сірки середні значення ступеня використання магнію при вдуванні повітря у випарну камеру та без нього практично не відрізняються, тобто обробка чавуну сумішшю пара

магнію та азоту не лише не погіршувала ефективність використання десульфуратору, але і дозволяла компенсувати окислення частини магнію киснем повітря.

Запропонована нами аналітично-розрахункова обробка залежності ступеня використання магнію на десульфурацію чавуну від концентрації сірки показала можливість досягнення значення ступеня використання магнію в межах до 0,83 (рис. 3, крива 2). Отримана аналітично-розрахункова модель описує на 99,34 % лінію логарифмічної регресії (рис. 3, крива 3).

Для умов киснево-конвертерного цеху ВАТ «Алчевський металургійний комбінат» при продувці чавуну в 300-тонному заливальному ковші в потоці аргону сумішшю гранульованого магнію марки МГП-99 (згідно з ТУ 1714-004-43055164-2004) фракції 200–1000 мкм та порошкоподібного вапна (≥ 94 % CaO та $\leq 0,04$ % S) (згідно з ТУ У 26.5-00193714-042-2001) фракції менше 100 мкм, флюїдизованого силіконовим маслом у процесі помелу, в роботах [18, 19] показано, що при глибокій десульфурації чавуну з вихідним вмістом сірки 0,020–0,030 % вапно, що вдувається спільно з магнієм в метал, не має суттєвого впливу на результати обробки. Представлена у роботі [19] залежність ступеня використання магнію на десульфурації чавуну при вдуванні суміші гранульованого магнію та флюїдизованого вапна від концентрації сірки в металі описує модель «S-curve» (рис. 4, крива 1).

Запропонована нами аналітично-розрахункова обробка залежності ступеня використання магнію на десульфурацію чавуну від концентрації сірки в металі показала можливість досягнення значення ступеня використання магнію в межах до 0,68 (рис. 4, крива 2). Отримана аналітично-розрахункова модель описує на 95,11 % лінію логарифмічної регресії (рис. 4, крива 3).

Висновки та напрямок подальших досліджень. В умовах сучасних металургійних підприємствах для ковшової десульфурації чавуну найбільш затребуваним є процес «Co-injection», при якому здійснюється спільна інжекція в розплав гранульованого магнію та вапна або карбиду кальцію в потоці азоту.

Аналіз існуючих технологій позапічної десульфурації різними видами реагент-

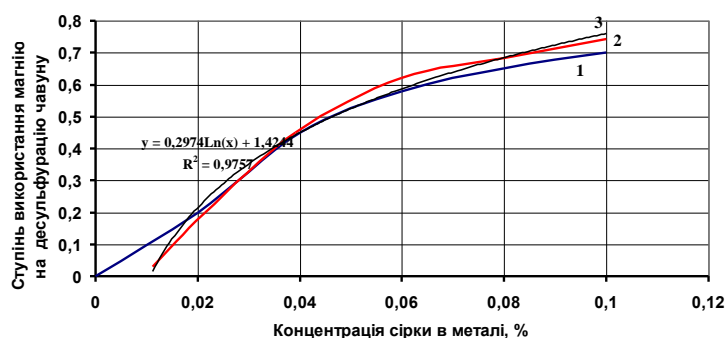


Рис. 2. Залежність ступеня використання магнію на десульфурацію природно-легованого чавуну при застосуванні гранульованого магнію від концентрації сірки в металі: 1 – дослідження роботи [12, 17]; 2 – запропонована аналітично-розрахункова модель; 3 – лінія тренду кривої 2

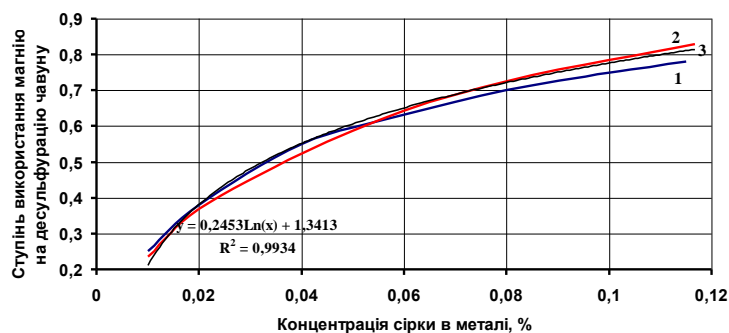


Рис. 3. Залежність ступеня використання магнію на десульфурацію переробного чавуну при застосуванні гранульованого магнію від вмісту сірки в металі: 1 – дослідження роботи [12, 17]; 2 – запропонована аналітично-розрахункова модель; 3 – лінія тренду кривої 2

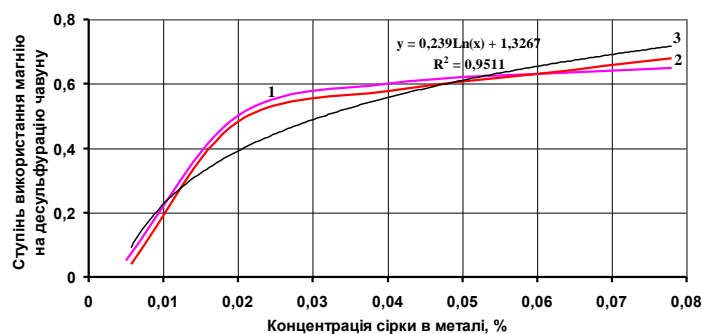


Рис. 4. Залежність ступеня використання магнію на десульфурацію чавуну в 300-т заливальних ковшах при вдуванні суміші гранульованого магнію та флюїдизованого вапна від концентрації сірки в металі: 1 – промислові дослідження роботи [19] (в умовах ВАТ «Алчевський металургійний комбінат»); 2 – запропонована аналітично-розрахункова модель [20]; 3 – лінія тренду кривої 2

десульфураторів показав, що найбільш ефективними є технології інжекції сумішей на основі одного магнію (ступінь десульфурації 95–99 %), суміші магнію з вапном (ступінь десульфурації 95–98 %), технологія дугового глибинного відновлення (ступінь десульфурації 90–98 %), а також обробка екзотермічними брикетами (ступінь десульфурації 65–85 %).

На основі відомих експериментальних та розрахункових даних запропоновано аналітично-розрахункову обробку показників десульфурації чавуну при застосуванні різних реагент-десульфураторів та показано, що:

при аналізі залежності ступеня використання магнію на десульфурацію природно-легованого хромонікелевого чавуну в 30-тонних заливальних ковшах при обробці гранульованим магнієм отримана аналітично-розрахункова модель описує на 97,57 % лінію логарифмічної регресії та дозволяє досягти значення ступеня використання магнію в межах до 0,74;

при аналізі залежності ступеня використання магнію на десульфурацію переробного чавуну з вдуванням повітря в випарну камеру та без нього отримана аналітично-розрахункова модель описує на 99,34 % лінію логарифмічної регресії та дозволяє досягти значення ступеня використання магнію в межах до 0,83;

при аналізі залежності ступеня використання магнію на десульфурацію чавуну в 300-т заливальних ковшах при вдуванні суміші гранульованого магнію та флюїдизованого вапна отримана аналітично-розрахункова модель описує на 95,11 % лінію логарифмічної регресії та дозволяє досягти значення ступеня використання магнію в межах до 0,68.

Подальший розвиток дослідження полягає в аналізі залежності вмісту магнію в чавуні від вмісту сірки після десульфурації при використанні різних технологій позадоменної десульфурації чавуну (зокрема, технології введення порошкоподібного магнієвого дроту, вдування порошкоподібних магнійвмісних сумішей, вдування суміші гранульованого магнію та вапна).

Список літератури

1. **Фурдичко Л.Є.** Сучасний стан та перспективи металургійної галузі України: фінансові показники розвитку, експорт-імпорт продукції / Л.Є. Фурдичко, Ю.В. Скварко // Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України. – 2016. – Вип. 3. – С. 102–106.
2. **Богушевський В.С.** Ковшове рафінування чавуну магнієвмісними реагентами / В.С. Богушевський, М.В. Каленчук // Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 6 : Міжнародна наукова конференція (Київ, 1–2 грудня 2016 р.). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – С. 354–357.
3. **Чуйко Н.М., Перевазко А.Т., Даничак Р.Е., Иванов В.Г., Козак В.В.** Внепечные способы улучшения качества стали. – К.: Техніка, 1978. – 128 с.
4. Газета Кабінету Міністрів України Урядовий кур'єр. Металурги повинні працювати на українському вугіллі [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://ukurier.gov.ua/uk/articles/metalurgi-povinni-pracuyuvati-na-ukrayinskomu-vugil/>
5. Роль и задачи внепечной обработки чугуна [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://uas.su/books/2011/pigiron/211/razdel211.php>
6. **Вергун А.С.** Десульфурация металла в технологическом комплексе «УДЧ–конвертер» / А.С. Вергун, В.Г. Кисляков, В.Ф. Поляков и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии : сб. научн. тр. – 2007. – Вип. 14. – С. 112–119.
7. **Вергун А.С.** Десульфурация металла в технологическом комплексе «УДЧ–конвертер–КП» / А.С. Вергун, В.Г. Кисляков, В.Ф. Поляков и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии : сб. научн. тр. – 2007. – Вип. 15. – С. 99–110.
8. **Франк Шрама.** Сравнение ведущих методов десульфурации чугуна / Франк Шрама, Барт Ван Дер Берг, Гвидо Ван Хаттум // Теория и технология металлургического производства. – 2015. – № 1(16). – С. 38–43.
9. **Потапова М.В.** Современные технологии внедоменной десульфурации чугуна / М.В. Потапова, Р.А. Ишмуратов, Т.М. Насыров // Теория и технология металлургического производства. – 2014. – № 1(14). – С. 26–27.
10. **Робей Р.** Внедоменная обработка чугуна с учётом конкретных производственных условий / Р. Робей, М. Уайтхед // МРТ. Металлургическое производство и технологии металлургических процессов. – 2014. – № 1(2014). – С. 16–24.
11. Гранулированный магний МГП-99 [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://ferrolabs.ru/products/magniy/granulirovanny-magniy-mgp-99/>
12. **Зборщик А.М.** Пути повышения эффективности использования магния для внедоменной десульфурации чугуна / А.М. Зборщик, П.С. Харлашин, Н.В. Косолап // Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наукових праць. 2014. – Вип. 28. – С. 7–17.
13. **Сігарьов Є.М.** Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Позаагрегатна обробка розплавів» освітньо-професійної програми підготовки магістрів за напрямом 136 Металургія. – Кам'янське : ДДТУ, 2016. – 42 с.
14. Внедоменная десульфурация чугуна вторичным магниевым сплавом / **В.А. Дворянинов и др.** // *Металлург.* – 1979. – № 9. – С. 14–17.
15. Технология обработки чугуна магниезисодержащими брикетами / **Б.М. Бойченко, К.Г. Низяев, А.Н. Стоянов и др.** // Инновационные технологии внепечной обработки чугуна и стали : научно-практическая конференция. – Днепропетровск: Национальная металлургическая академия Украины, 2011.
16. Позапічна десульфурація рідкого чавуну в контексті завдань вітчизняної металургії / **Л. С. Молчанов,**

К. Г. Нізяєв, Б. М. Бойченко та ін. // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2013. – № 2. – С. 38–41.

17. **Зборщик А.М.** Влияние условий растворения магния в чугуна на эффективность десульфурации металла / А.М. Зборщик // Тепло- и массообменные процессы в металлургических системах : материалы VIII Международной научно-технической конференции (Мариуполь, 7–9 сентября 2010 г.). – Мариуполь : ПГТУ, 2010. – С. 102–107.

18. **Зборщик А.М.** Эффективность использования флюидизированной извести для десульфурации чугуна в 300-т заливочных ковшах / А.М. Зборщик, С.В. Куберский, Г.Я. Довгалюк, В.Н. Беломеры // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер.: Металургія. – 2011. – Вип. 13 (194). – С. 53–60.

19. Десульфурация чугуна в кислородно-конвертерном цехе ОАО «Алчевский металлургический комбинат» / **А.М. Зборщик, С.В. Куберский, Г.Я. Довгалюк и др.** // Металли и литье Украины. – 2010. – № 7. – С. 9–12.

20. **Грибоводов С.С.** Аналітично-розрахункова обробка показників позадоменної десульфуратії чавуну /С.С. Грибоводов, О.С. Воденнікова, Л.В. Воденнікова // Молоді вчені 2019 – від теорії до практики: збірник матеріалів Х Міжнародної конференції молодих вчених. Секція 1 «Металургія, машинобудування, металообробка» (Дніпро, 7 березня 2019 р.). – Дніпро: НМетАУ, ІнФН, 2019. – С. 20–23.

УДК 622.74: 621.928.235

В.В. ЯЦУН, канд. техн. наук, доц., Центральноукраїнський національний технічний університет
О.Д. ПОЧУЖЕВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., В.Ю. ТИЩЕНКО, наук. співроб.
Криворізький національний університет

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВІБРАЦІЙНОГО ГРОХОТА, ЩО ПРАЦЮЄ В РЕЗОНАНСНОМУ РЕЖИМІ

Метою роботи є дослідження процесу збудження двочастотних резонансних вібрацій короба грохоту пасивними автобалансирами.

Створено імітаційну модель модернізованого грохоту інерційного, у якому в якості віброзбудника використовується кульовий автобалансир, що дозволяє створювати двочастотні резонансні вібрації. Був виділений ряд основних параметрів, що впливають на стійкість двочастотних резонансних вібрацій. Установлено, що області існування двочастотних резонансних вібрацій мають великі межі, що дозволяє змінювати характеристики двочастотних резонансних вібрацій зміною багатьох параметрів. Зроблено висновок про можливість отримання позитивного ефекту від заміни інерційного віброзбудника на двочастотний резонансний.

Методи дослідження. Дослідження проводилися з використанням комп'ютерної САПР Solidworks для створення імітаційної моделі і модуля Cosmos Motion для моделювання динаміки вібромашини. Обробка отриманих даних проводилась в системі комп'ютерної алгебри Mathcad.

Наукова новизна. Визначені області зміни основних параметрів, що забезпечують швидке і гарантоване настання двочастотних резонансних вібрацій. Сформульовані та перевірені припущення щодо дії механізму виникнення двочастотних резонансних вібрацій.

Практична значимість. Посаднання переваг резонансної вібромашини із двочастотним віброзбудником дозволить одержати енергоефективну машину з підвищеною продуктивністю. Методика імітаційного моделювання, реалізована для вібраційного грохоту, може бути використана й для інших вібраційних машин.

Результати. В розробленій імітаційній моделі, що має ідентичні геометричні, масово-інерційні параметри й повністю відповідає натурному грохоту, установлено, що в широкій області зміни параметрів системи гарантовано наступають двочастотні резонансні вібрації. До цих параметрів віднесено: масу короба, масу коригувальних вантажів, масу дебалансу, частоту обертання дебалансу, жорсткість опор та сили в'язкого опору. Збільшення маси короба сприяє зменшенню нижчої частоти коливань. При цьому коригувальні вантажі автоматично підлаштовуються під зміну маси короба. Збільшення маси коригувальних вантажів прямопропорційно сприяє збільшенню амплітуди повільних коливань короба. Збільшення маси дебалансу в корпусі автобалансира прямопропорційно збільшує амплітуду швидких коливань короба. Збільшення частоти обертання ротора прямопропорційно збільшує швидкість швидких коливань короба. Був визначений ряд параметрів, що впливають на значення амплітуди повільних коливань.

Ключові слова: резонанс, двочастотний віброзбудник, дебаланс, автобалансир, грохот, імітаційне моделювання.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-35-40

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. У резонансних вібромашинах віброзбудники приводять у рух досить значні по площі робочі органи (сита, короби) з мінімальними витратами енергії [1-3].

Значне підвищення ефективності вібромашин забезпечується використанням у них дво- і більше частотних віброзбудників [4]. У таких машинах при коливаннях короба (решета, сита й

т.п.) з більш низькою частотою виконується головний технологічний процес – сепарація, просівання й т.п., а коливання з більш високою частотою забезпечують самоочищення короба й зміну механічних властивостей оброблюваного продукту з метою збільшення інтенсивності головного технологічного процесу.

Об'єднання резонансної машини із двочастотним віброзбудником дозволить одержати енергоефективну машину з підвищеною продуктивністю за рахунок поєднання переваг резонансних і багаточастотних вібромашин.

Існуючі способи збудження двочастотних вібрацій мають труднощі з підстроюванням під резонансну частоту коливань короба [1-4]. З іншого боку, виявлений особливий режим руху ротора з пасивним автобалансиром (АБ), у якому ротор обертається з робочою частотою, а коригувальні вантажі (КГ) не можуть його наздогнати й застряють на одній з резонансних частот коливань ротора [5-15]. Довгий час цей режим, у рамках теорії автобалансування, розглядався як побічний (небажаний). При цьому основна увага приділялася підбору параметрів ротора й АБ, при якому настає автобалансування, а будь-які інші побічні рухи – нестійкі.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботі [5] при вивченні процесу зрівноважування ротора на пружно-в'язких опорах двома маятниковим АБ був виявлений новий побічний режим руху роторної системи, який був пояснений ефектом застрягання Зоммерфельда. Зазначимо, що ефект Зоммерфельда це – застрягання при розгоні маятника, жорстко насадженого на вал електродвигуна, встановленого на платформу на податливих опорах на резонансній частоті коливань платформи [6].

У роботі [7] експериментально виявлений режим, у якому дві кулі в кульовому АБ притиснуті одна до одної й під час обертання відстають від ротора. У роботі [8] особливий режим руху ротора з АБ експериментально був виявлений для багатокульових і неklasичних АБ (в останніх КВ повертаються навколо поздовжньої й поперечної осей ротора). У роботі [9] підтверджені результати роботи [8] для кульових автобалансирів як експериментально, так і обчислювальним експериментом.

У роботі [10] за допомогою методу розподілу рухів, проведені дослідження ефекту «застрягання» і режиму автобалансування, пояснені особливості поведінки роторної системи з маятниковими АБ. Отримані умови існування ефекту «застрягання». Більш докладно ці результати викладені в роботі [11].

У роботі [12] виконані експериментальні дослідження ефекту «застрягання» маятників в АБ на резонансних частотах ротора. У роботі [13] експериментально й обчислювальним експериментом виявлений ефект «застрягання» у твердого ротора із чотирма ступенями свободи на пружних ізотропних опорах з маятниками для автобалансування.

У роботі [14] побудована узагальнена механіко-математична модель, призначена для дослідження як процесу автобалансування ротора маятниковими АБ, так і ефекту застрягання маятників.

У роботах [5-14] режим застрягання КВ розглядається в рамках теорії АБ як побічний (небажаний). При цьому основна увага приділялася підбору параметрів ротора й АБ, при якому настає автобалансування, а будь-які інші побічні рухи – нестійкі.

Таким чином, для проектування резонансних двочастотних машин необхідно вивчити механізм збудження АБ двочастотних вібрацій короба, вплив на їхні характеристики різних параметрів вібромашини. У зв'язку зі складністю проведення натурних експериментів доцільно ці дослідження проводити віртуально – з використанням 3D моделювання.

Постановка задачі. Розробити 3D модель грохоту і двочастотного віброзбудника у вигляді кульового АБ. Виконати пошук областей зміни основних параметрів, які забезпечують гарантоване настання двочастотних вібрацій та дослідити механізм збудження АБ двочастотних вібрацій.

Викладення матеріалу та результати. Створено 3D модель грохоту інерційного легкого типу ГІЛ 52 (рис. 1). Вона має ідентичні геометричні, масо-інерційні параметри й повністю відповідає натурному грохоту.

Створено 3D модель одночастотного віброзбудника (рис. 2 а), а також двочастотного віброзбудника у вигляді кульового АБ (рис. 2 б). У базовій машині використовується одночастотний інерційний віброзбудник, а в модернізованій – двочастотний інерційний.

Створено 3D модель одночастотного віброзбудника (рис. 2а), а також двочастотного віброзбудника у вигляді кульового АБ (рис. 2 б). У базовій машині використовується одночастотний інерційний віброзбудник, а в модернізованій – двочастотний інерційний.

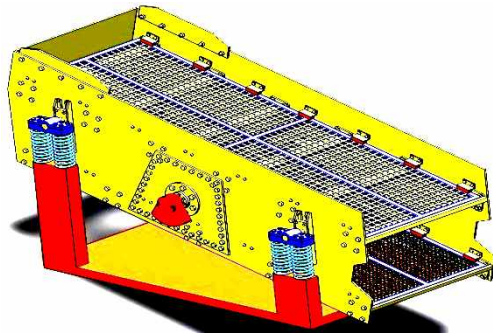


Рис.1. Імітаційна модель грохоту

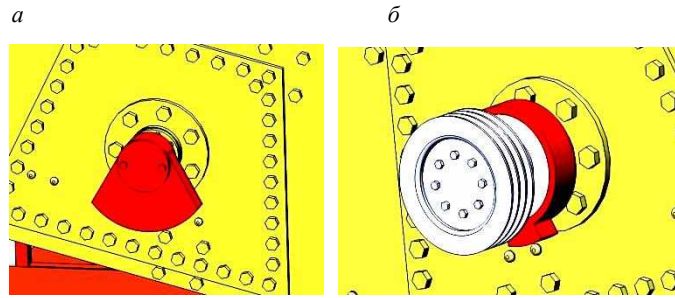


Рис. 2. Дебаланс (віброзбудник): а – одночастотний; б – двочастотний у вигляді кульового АБ

Після налагодження й тестування 3D моделі модернізованої машини були виділені такі основні параметри, що впливають на стійкість двочастотних вібрацій: коефіцієнт твердості опор S ; коефіцієнт сили в'язкого опору B ; маса дебалансу на корпусі АБ M_D ; сумарна маса коригувальних вантажів $M_{кв}$; маса короба M ; частота обертання валу ω ; коефіцієнт сили в'язкого опору руху $K_B h$.

Для проведення експериментів були прийняті такі значення параметрів за замовчуванням: маса дебалансу на корпусі АБ $M_D=11$ кг, маса коригувальних вантажів $M_{кв}=38$ кг, маса короба $M=2700$ кг, частота обертання валу $\omega=1500$ об/хв.

Коефіцієнт твердості опор був обраний таким чином, щоб частота власних коливань центру мас (ЦМ) короба на пружних амортизаторах становила 16 с⁻¹, при цьому сумарний коефіцієнт твердості всіх пружин склав $S=19000$ Н/мм (значення за замовчуванням).

Спочатку змінювався коефіцієнт сили в'язкого опору в опорах B (табл. 1). Установлено, що двочастотні вібрації не виникають при занадто малих або великих силах в'язкого опору.

Таблиця 1

Коефіцієнт сили опору в опорах

$B, \text{H}\cdot\text{c}/\text{мм}$	1	2	4	6	8	10	12	14	16
Час загасання вільних коливань короба, с	>10	4	2	1	1,5	1,2	1,0	0,9	0,8
Двочастотні вібрації	-	+	+	+	+	+	+	+	-

У подальших дослідженнях було прийняте значення за замовчуванням $B=7, \text{H}\cdot\text{c}/\text{мм}$.

Для дослідження впливу маси короба на характеристики вібрацій, значення маси короба мінялося в діапазоні 2500–3500 кг (рис. 3 а,б). На діаграмі горизонтальна вісь відображає значення часу, вертикальна значення віброприскореного центру мас короба.

Установлено, що нижча частота коливань короба зменшується з ростом маси короба. При цьому K_B автоматично підлаштовуються під зміну маси короба.

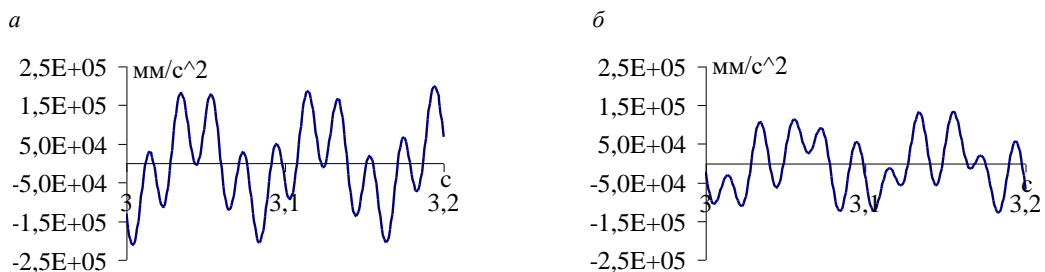


Рис.3. Вплив маси короба на діаграму його віброприскорень: а – $M=2500$ кг; б – $M=3500$ кг

Для дослідження впливу маси $K_B M_{кв}$ на характеристики вібрацій, значення маси K_B змінювалося в діапазоні 15–35 кг (рис. 4 а,б). На діаграмі горизонтальна вісь відображає значення часу, вертикальна значення віброприскорень центру мас короба.

Установлено, що збільшення маси КВ прямопропорційно збільшує амплітуду повільних коливань короба. Це прямопропорційно збільшує енергію коливань, що спрямована на виконання основного техпроцесу (сепарації, класифікації, просівання й т.п.).

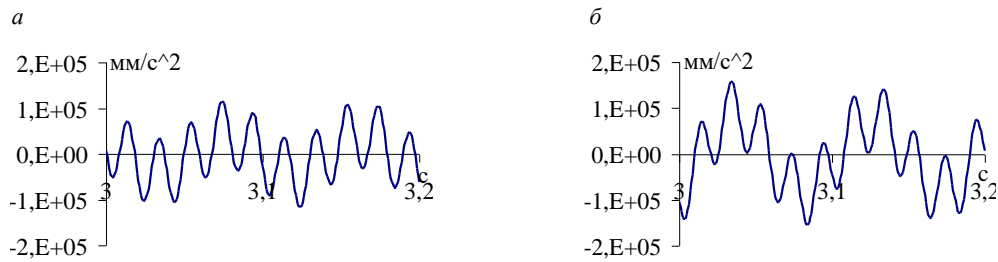


Рис. 4. Вплив маси КВ на діаграму віброприскорень короба: *a* – $M_{KB}=15$ кг; *б* – $M_{KB}=35$ кг

Для дослідження впливу маси дебалансу M_D на характеристики вібрацій, значення маси дебалансу мінялося в діапазоні 5–10 кг (рис. 5 *a, б*). На діаграмі горизонтальна вісь відображає значення часу, вертикальна значення віброприскорень центру мас короба.

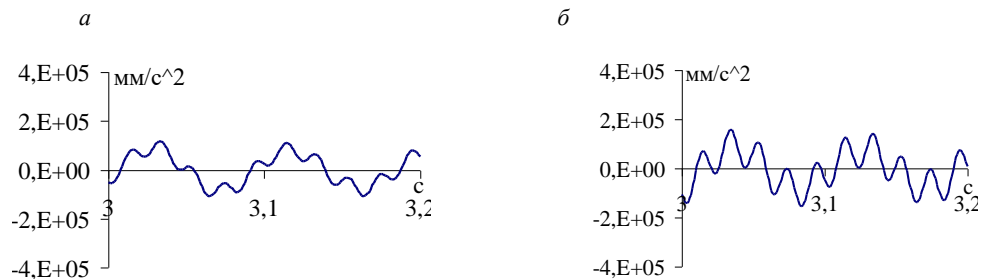


Рис.5. Вплив маси дебалансу на діаграму віброприскорень короба: *a* – $M_D=5$ кг; *б* – $M_D=10$ кг

Установлено, що зі збільшенням мас дебалансів на корпусі автобалансиру прямопропорційно призводить до зростання амплітуди швидких коливань короба. Це прямопропорційно збільшує енергію коливань, спрямовану на самоочищення короба й зміну через вібрації механічних властивостей оброблюваного матеріалу.

Для дослідження впливу частоти обертання валу ω на характеристики вібрацій, значення частоти обертання валу мінялося в діапазоні 1500–3000 об/хв (рис. 6 *a, б*). На діаграмі горизонтальна вісь відображає значення часу, вертикальна значення віброприскорень центру мас короба.

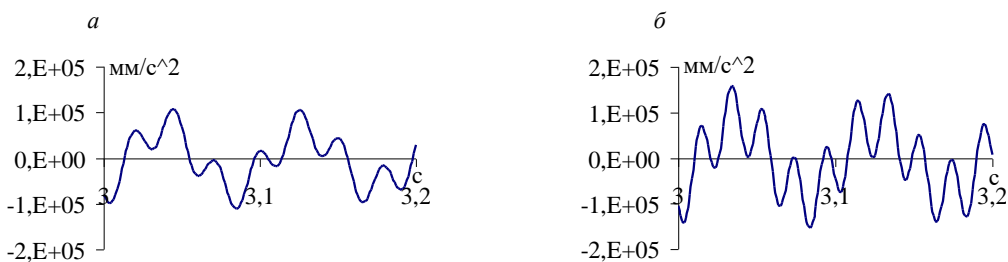


Рис.6. Вплив частоти обертання валу на діаграму віброприскорень короба: *a* – $\omega=1500$ об/хв; *б* – $\omega=3000$ об/хв

Установлено, що збільшення частоти обертання ротора прямопропорційно збільшує значення швидких коливань короба. Це за квадратичним законом збільшує енергію коливань, яка спрямована на самоочищення короба й зміну через вібрації механічних властивостей оброблюваного матеріалу.

Подальші дослідження були спрямовані на визначення параметрів, що впливають на значення амплітуди повільних коливань. Установлено, що збільшення коефіцієнта h сил в'язкого опору руху КВ приводить до деякого збільшення амплітуди.

Збільшення r радіуса обертання КВ прямопропорційно збільшує амплітуду повільних коливань короба.

У той же час збільшення коефіцієнта сил в'язкого опору опор В приводить до зменшення амплітуди.

Оскільки двочастотні вібрації мають дві складові, які виникають відповідно від дисбалансу на корпусі АБ і від КВ, було вирішено досліджувати кожен складову окремо.

Для цього було проведено моделювання роботи грохоту у двох режимах: робота без КВ та робота без дисбалансу на корпусі АБ.

Після чого отримані дані були оброблені в системі комп'ютерної алгебри Mathcad і була побудована сумарна діаграма віброприскорень. Порівняння побудованої діаграми з діаграмою, отриманою в САПР Solidworks (рис. 7), показує, що вони майже ідентичні. На діаграмі горизонтальна вісь відображає значення часу, вертикальна – значення віброприскорень центру мас короба.

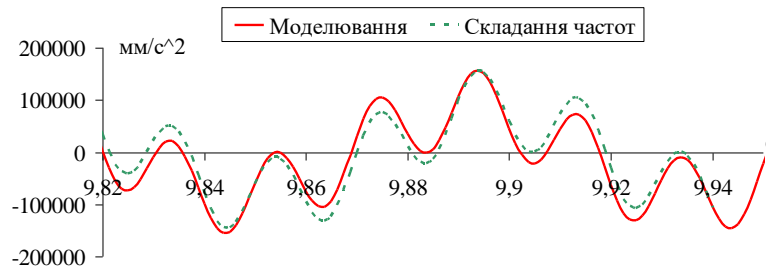


Рис. 7. Діаграми віброприскорень центру мас короба, отримані додаванням одночастотних складових і 3D моделюванням

Це підтвердило гіпотезу, що АБ працює як два окремі незалежні віброзбудники. Перший віброзбудник утворюють КВ і він збуджує повільні коливання короба із власною резонансною частотою, а другий віброзбудник утворює дебалансна маса на корпусі АБ і він збуджує швидкі коливання короба із частотою обертання ротора.

Тестування 3D моделі грохоту ГЛ 52 повністю підтвердило працездатність АБ у якості збудника двочастотних вібрацій.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Установлений вплив параметрів модернізованої машини на двочастотні вібрації. Так, збільшення твердості опор С веде до збільшення частоти власних коливань центру мас короба. Збільшення коефіцієнта сил грузлого опору опор В зменшує амплітуду повільних вібрацій короба. Збільшення маси короба приводить до того, що нижча частота коливань короба зменшується, однак при цьому КВ автоматично підлаштовуються під зміну маси короба.

Збільшення маси КВ прямопропорційно призводить до збільшення амплітуди повільних коливань короба. Це прямопропорційно збільшує енергію, що спрямована на виконання основного техпроцесу (сепарації, класифікації, просівання й т.п.).

Збільшення маси дебалансу на корпусі АБ прямопропорційно збільшує амплітуду швидких коливань короба.

Моделювання показало, що АБ працює як два окремі віброзбудники. У першому КВ практично рівномірно обертаються з резонансною частотою коливань решета, причому незалежно від завантаження вантажі автоматично підбудовуються під цю частоту і сприяють збудженню повільних (основних) коливань короба (16 Гц) з великою амплітудою; у другому – дебаланс на корпусі автобалансира створює швидкі коливання короба з (кжною) поточною зарезонансною частотою обертання ротора.

Методика 3D моделювання, реалізована для грохоту ГЛ 52, може бути використана й для інших вібраційних машин.

Надалі планується: проведення натурних експериментів на стенді, для зіставлення з результатами чисельного експерименту; побудова й аналіз механіко-математичної моделі грохоту із двочастотним збудником вібрацій у вигляді пасивного АБ.

Список літератури

1. Благов, И. С. Справочник по обогащению углей [Текст] / ред.: И. С. Благов, А. М. Коткин, Л. С. Зарубин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1984 г. – 614 с.

2. Ланець, О. С. Модернізація одно— та двомасових резонансних вібраційних машин з інерційним приводом [Текст] / О. С. Ланець, В. М. Гурський, Я. В. Шпак // Ж.: Вібрації в техніці та технологія. — 2011. — № 4 (64). — С. 39-43.
3. Гурський, В. М. Аналіз електромеханічних характеристик резонансних вібраційних систем [Текст] / В. М. Гурський, Я. В. Шпак // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. — 2011. — Вип. 45. — С. 192–198.
4. Шевченко, Г. А. Поличастотные грохоты для разделения тонких сыпучих материалов [Текст] / Г.А. Шевченко, В.Г. Шевченко, А.Р. Кадыров // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб., 2009. — Вип. 36 (77) – 38 (79).
5. Артюнин, А. И. Исследование автоматической балансировки ротора в форме цилиндра, жестко установленного в корпусе на упругих опорах [Текст] / А.И. Артюнин, О.Ю. Суменков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование, no. 4 (64), 2019, с. 13-19.
6. Somerfeld A. Beitrage zum dynamischen Ausbay der Festigkeslehre [Text] //Zeitschrift des Verins Deutscher Ingenieure, 1904. Bd. 48(18). P. 631–636.
7. Пирогов В.В. Особливості зрівноваження маятниками обертового несучого тіла в ізольованій системі: автореф. дис. ... канд. фіз.-мат. наук: 01.02.01 / В.В. Пирогов; НАН України, Ін-т механіки ім. С.П. Тимошенка — К., 2014. — 20 с.
8. Філімоніхін, Г. Б. Зрівноваження і віброзахист роторів автобалансирами з твердими коригувальними вантажами [Текст] / Г. Б. Філімоніхін. Монографія. – Кіровоград: КНТУ, 2004. – 352 с.
9. Lu, Chung-Jen & Wang, Ming-Cheng & Huang, Shih-Hsuan. (2009). Analytical study of the stability of a two-ball automatic balancer. Mechanical Systems and Signal Processing. 23. 884-896. 10.1016/j.ymsp.2008.06.008.
10. Артюнин, А.И. Об особом режиме движения жесткого ротора с упругими опорами и маятниковыми автобалансирами [Текст] / А.И. Артюнин, Г.Г. Алхунсаев // Известия выс. уч. завед. 2005. № 10. С. 8-14.
11. Artyunin, A.I., Barsukov, S.V., Sumenkov, O.Y. Peculiarities of Motion of Pendulum on Mechanical System Engine Rotating Shaft. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2020. P. 649–657. doi: https://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-22041-9_70
12. Neyman L. A., Neyman V. Y. Dynamic model of a vibratory electromechanical system with spring linkage, 2016 11th International Forum on Strategic Technology (IFOST), Novosibirsk, 2016. P. 23–27, doi: <https://doi.org/10.1109/IFOST.2016.7884234>
13. Artyunin, A.I., Eliseyev, S.V. Effect of "crawling" and peculiarities of motion of a rotor with pendular self-balancers. Applied Mechanics and Materials, 2013. N 373-375, P. 38–42. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.373-375.38>
14. Inoue, T., Ishida, Y., and Niimi, H. "Vibration Analysis of a Self-Excited Vibration in a Rotor System Caused by a Ball Balancer." ASME. J. Vib. Acoust., 2012. Vol. 134, Issue 2: 021006. <https://doi.org/10.1115/1.4005141>
15. Застосування пасивного автобалансира як збудника кругових двочастотних вібрацій [Текст] : пат. на корисну модель № 92337 U Україна, F04D 29/66. Г. Б. Філімоніхін, В. В. Яцун (Україна); КНТУ. Заявл. 18.03.2014; Опубл. 11.08.2014, Бюл.№15

УДК 004.896

О.М. СІНЧУК, д-р техн. наук, проф., Т.М. БЕРІДЗЕ, д-р економ. наук, доц.,
І.О. СІНЧУК, Ю.Б. ФІЛІПП, кандидати техн. наук, доценти
Криворізький національний університет

ЗАСАДНИЧІ ІМПЕРАТИВИ СУТНОСТІ АНАЛІЗУ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ВИДОБУТКУ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ НА ПІДЗЕМНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ КРИВБАСУ

Мета. Мета статті є визначення найбільш енергоємних складових виробничого потенціалу підземних підприємств залізорудної галузі Криворізького регіону. Дослідження взаємодії та проведення порівняльного аналізу виділених складових елементів.

Методи дослідження. Для дослідження поставленого завдання застосована методологія системного підходу та методи системного аналізу задля виділення енергоємних елементів складної виробничої системи. Проведено порівняльний аналіз на засадах методології багаточастотного регресійного аналізу.

Наукова новизна. Виділено найбільш енергоємні складові на підземних підприємствах залізорудної промисловості, відповідно до концептуальних положень щодо управлінських процесів споживання електроенергії на підприємствах залізорудної промисловості. Доведено, що такими енергоємними елементами для залізорудних підприємств Кривбасу є скіпові підйомні установки, дробильно-сортувальна фабрика, водовідливні установки, вентиляційні установки. Показана взаємодія виділених системних елементів виробничої системи залізорудного підприємства.

Практична значимість. Побудовані регресійні моделі дозволили більш детально дослідити енергоємні складові щодо залізорудних підприємств. Проведений порівняльний аналіз дозволив окреслити проблемні питання щодо практичного застосування результатів моделювання для ш. «Гвардійська». З'ясовано, що специфічні технологічні процеси, які відбуваються на ш. «Гвардійська» потребують перевірки складових факторів впливу. Загалом, для пі-

дземних підприємств Кривбасу характерним є негативний вплив на загальне споживання електричної енергії факторів, які характеризують роботу складової дробильно-сортувальної фабрики. На основі аналізу отриманих моделей формуються відповідні управлінські рішення щодо видобутку залізорудної сировини на підприємствах Кривбасу.

Результати. Отримані відповідні кількісні показники факторів впливу на енергоємність складових виробничої системи залізорудних підприємств Кривбасу. Визначені негативний та позитивний вплив на загальне споживання електроенергії складових виробничої системи, а саме: скіпові підйомні установки, дробильно-сортувальна фабрика, водовідливні установки, вентиляційні установки. Для всіх підприємств, що аналізувались, характерним є негативний вплив на загальне споживання електроенергії складової, яка визначає дробильно-сортувальну фабрику. Вважається доцільним збільшити обсяг інформаційного простору задля більш ретельного опису та визначення характеристик енергоємних складових, що впливають на видобуток залізорудної сировини на підприємствах Кривбасу.

Ключові слова: енергоємність, підприємство, електроспоживання, модель, регресія, залізорудна сировина.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-40-47

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Розвиток гірничорудної промисловості обумовлює зростання підприємствами галузі споживання енергетичних ресурсів, основним з яких є електроенергія [1]. За останні десять-п'ятнадцять років зростання рівнів споживання електроенергії в галузях, на частку яких припадає основний обсяг гірничих робіт, склав: у паливній - 36,6%, у чорній металургії - 45,8 \$, в кольоровій металургії - 39,9 \$. Аналіз перспектив розвитку гірничого виробництва показує, що існуюча тенденція матиме місце і надалі [1].

Структура споживання електроенергії за спрямованістю користування показує, що значна частина (понад 70%) використовується на силові потреби підземного гірничого виробництва в електроприводі машин, механізмів і установок. Гірниче виробництво характеризується високими показниками електроємності продукції, енергоозброєності праці, електрооснащеності фондів.

Ефективність процесу застосування електроенергії в електротехнічних комплексах і системах підземних гірничих підприємств в якісному аспекті характеризується його технічним обладнанням, ступенем продуктивності, придатності та іншими властивостями.

Сучасний період електрифікації гірничого виробництва характеризується значним підвищенням ролі показників техніко-економічної ефективності використання електроенергії.

Як відомо, невід'ємною та вирішальною складовою ефективності діяльності підприємств промислової галузі загалом та гірничих окремо є зменшення їх енергоємності. Природно, що на енергоємність промислових підприємств взагалі, та залізорудних підприємств окремо здійснює вплив: природно-кліматичні чинники, основні та оборотні фонди, нематеріальні активи, діяльність персоналу [1]. Саме енергоємність видобутку залізорудної сировини визначає, наскільки результативними є дії керівництва в сфері розподілу, спрямування, планування та аналізу всіх наявних ресурсів залізорудного підприємства, яку нішу займає та буде займати в майбутньому дане підприємство на ринку залізорудної сировини з урахуванням впливу на нього конкурентного середовища. Важливе місце в цьому питанні належить впливу на динаміку складових виробничого процесу поточних тенденцій у сфері розвитку технологій, тобто врахування чинника науково-технічного прогресу. Дослідити ці процеси, їхню взаємодію, виявити особливості структурного взаємозв'язку між цими компонентами дозволяє апарат економетричних методів моделювання складних виробничих процесів. Тому дослідження питань формалізації виробничого потенціалу на основі використання сучасних підходів і методів економіко-математичного моделювання є важливим і актуальним питанням для вітчизняних залізорудних підприємств.

Аналіз досліджень і публікацій. Теоретичні і практичні аспекти щодо сутності структури, особливостей формування та використання складових виробничого потенціалу висвітлені такими відомими зарубіжними вченими, як Майк Райкрофт [2], Естаніслао Пухадес, Філіп Орбан, Сара Боде, П'єр Аршам-бо, Себастьян Ерпікум, Ален Дассарг [3]. До вітчизняних дослідників різноманітних аспектів формування та функціонування виробничого потенціалу належить також багато вчених, серед яких особливо варто відмітити праці Шидловського А. К., Півняка Г. Г., Рогози М. В., Випанасенко С. І [4], Вілкула Ю.Г., Азаряна А. А., Колосова В. О., Караманца Ф. І. [5], Ступніка М. І., Федька М. Б, Письменного С. В. [6]. Особливості моделювання виробничого потенціалу як сфери діяльності підприємств представлені апаратом виробничих функцій, розробленим Коббом і Дугласом, та вдосконаленим шляхом врахування чинника науково-технічного прогресу в працях Тінбергена. Специфіка та індивідуальні особливості технології функціонування залізорудних підприємств з огляду на енергоємність процесів до-

кладно висвітлені в працях Дремина А.А. [7], Праховника А. В, Розена В. П., Дегтярева В. В. [8]. Не зменшуючи глибоко наукового аналізу виробничого потенціалу залізорудних підприємств, зазначимо, що питання для підприємств саме залізорудної галузі розглянуто недостатньо та потребує подальшого вивчення. Окремо слід виділити питання щодо недостатності висвітлення у вітчизняних дослідженнях аналізу впливу науково-технічного прогресу на механізми взаємодії складових елементів виробничого потенціалу та фінансових результатів діяльності підприємств залізорудної галузі. Саме тому ці питання потребують більш ґрунтовного аналізу і вдосконалення.

Постановка задачі. Основною задачею дослідження, висвітленого в даній статті, є вивчення, порівняльний аналіз особливостей взаємодії складових елементів виробничого потенціалу гірничих підземних підприємств залізорудної галузі Криворізького регіону.

Викладання матеріалу та результати. Практичною базою для підвищення ефективності застосування електроенергії на гірничих підприємствах, поряд з іншим, є удосконалення методів розрахунку електричних навантажень, установлення науково-обґрунтованої питомої витрати електроенергії, підвищення точності прогнозування та рівня планування показників електроспоживання, зниження втрат і економія електроенергії, та ін. Швидке зростання споживання енергії створює небезпеку скорого вичерпання викопних енергетичних ресурсів. Ризики, пов'язані з розвитком енергетики, визначають підвищений інтерес до тих або інших оцінок майбутньої динаміки енергетики і наслідків її розвитку. Слід враховувати, що енергетична безпека натеper є наріжним каменем політики багатьох країн. Доречно зазначити, що до 2030 р., за даними Міністерства палива і енергетики України, у країні плануються скоротити споживання енергоресурсів на 12%, у тому числі в металургії до якої традиційно відносяться і залізорудна галузь – на 30%. В протигагу цим «планам» зазначимо, що до 2019 р. такої тенденції в рівнях споживання ЕЕ в дійсності не спостерігається. Рівень споживання ЕЕ в 2018 р. в порівнянні з 2013 р. споживання ЕЕ в Україні практично не скоротився, в тому числі в металургії (в т. ч. гірничорудній галузі) взагалі не зменшилось ($\approx 24,5\%$).

При визначенні комплексного оцінювання електроспоживання постає питання щодо зміни споживання з кожного джерела електроенергії в порівнянні з минулим періодом, а також які причини, а саме: глибина шахти, кількість зневоднення, зміна якості руди, зміна технологій тощо. Опрацювання цих питань є підґрунтям можливості вирішення питань задля формування комплексної оцінки електроспоживання на підприємствах видобутку залізорудної сировини [10-12].

Ефективне електроспоживання є наслідком зменшення енергоємності видобутку залізорудної сировини та має спиратися на оптимальне планування і прогнозування витрат електричної енергії. Оптимальне планування і прогнозування електроспоживання базується на науково-обґрунтованому нормуванні витрати електроенергії по основних і допоміжних процесах гірничого виробництва. Нормування витрат електроенергії багато в чому залежить від планових заходів електроспоживання на залізорудних підприємствах. Встановлення технічних і економічно обґрунтованих планових заходів електроспоживання висуває завдання визначення режимів навантаження електроприймачів залізорудних підприємств.

Аналізуючи згадані фактори можна виділити два основних напрями забезпечення оптимальної енергоємності видобутку залізорудної сировини, а саме: постачання фізичних обсягів енергоресурсів у відповідності до потреб економіки, зменшуючи при цьому вплив зовнішніх факторів на стабільність енергозабезпечення, та зниження темпів зростання потреби економіки у енергоносіях при забезпеченні стабільного зростання ВВП шляхом підвищення ефективності використання енергоресурсів національною економікою. Причому ці напрями також сприяють укріпленню економічної безпеки держави. Кожен із приведених напрямів має свої пріоритети. Загалом реалізація вирішення завдання забезпечення оптимальної енергоємності видобутку залізорудної сировини з урахуванням перелічених факторів передбачає два напрями. Реалізація першого напрямку має на увазі забезпечення: максимальне використання наявних власних енергоресурсів та джерел енергії шляхом інтенсифікації власних обсягів видобутку, поглиблення глибини переробки, нових технологій перетворення енергії, використання вторинних енергоресурсів; уникнення монопольної залежності поставок енергоносіїв з Росії (практично монопольні поставки нафти, газу, ядерного палива) через диверсифікацію джерел імпорту енергоносіїв та шляхів транспортування; модернізації основних фондів, у першу чергу підприємств ПЕК (рі-

вень зношеності основних фондів ПЕК складає біля 60%); розроблення сукупності заходів для забезпечення життєдіяльності економіки на випадок не передбачуваних обставин у ПЕК чи з поставками ПЕР. Реалізація другого напрямку має забезпечити: зміну структури промислового виробництва шляхом зменшення питомої ваги енерго- та ресурсоемних галузей; комплексну модернізацію та переозброєння господарських комплексів України загалом та залізрудних підприємств окремо на основі енергозбереження, впровадження найновіших енергозберігаючих технологій, сучасних телекомунікаційних та комп'ютерних мереж; зменшення марнотратного та безгосподарного використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) та вторинних енерго-ресурсів; розширення використання альтернативних джерел енергії. Аналіз пріоритетів обох напрямів забезпечення оптимальної енергоемності залізрудних підприємств вказує на енергозбереження як ключовий напрям прикладання зусиль управлінського апарату. На сучасному етапі перед Україною стоїть задача знизити енергоемність своєї економіки та тим самим гарантувати її безпеку [13, 14].

Досягнути це можна кількома шляхами. Екстенсивний – нарощування власного видобутку та імпорту від різних постачальників - є найбільш прийнятним для України з урахуванням її економічного стану. Проте не можна повністю відсторонитися від запровадження альтернативної енергетики. Якщо замінити застаріле обладнання на нове, Україна може майже вдвічі знизити свої витрати на теплову та електричну енергію.

З огляду на це може бути сформульовано основні складові формування щодо підходів комплексної оцінки електроспоживання залізрудними підприємствами: теоретичне обґрунтування методологічних положень моніторингу електроспоживання енергоемних складових; моделювання; оптимізації та прогнозування; обґрунтування та визначення інформативних ознак і показників енергоефективності за допомогою факторного аналізу тощо. Це особливо важливо в умовах обмеженого обсягу сукупності даних.

Теоретико- методологічні засади є підґрунтям для проведення оцінювання енергоемності видобутку залізрудної сировини як в теоретичному плані так і в практичному застосуванні. Важливим постає питання визначення та прогнозування енергоемних складових щодо видобутку залізрудної сировини.

Проведені дослідження дозволили виділити найбільш енергоемні складові на підземних підприємствах залізрудної промисловості.

Відповідно до концептуальних положень щодо управлінських процесів споживання електроенергії на підприємствах залізрудної промисловості, досліджувалися рівні електроспоживання виділених найбільш енергоемних складових, а саме: скіпові підйомні установки (СкПУ), дробильно-сортувальна фабрика (ДСФ), водовідливні установки, вентиляційні установки. За отриманими даними побудовані графіки (рис.1-6), що дозволяє провести візуальний аналіз складових електробалансу [15].

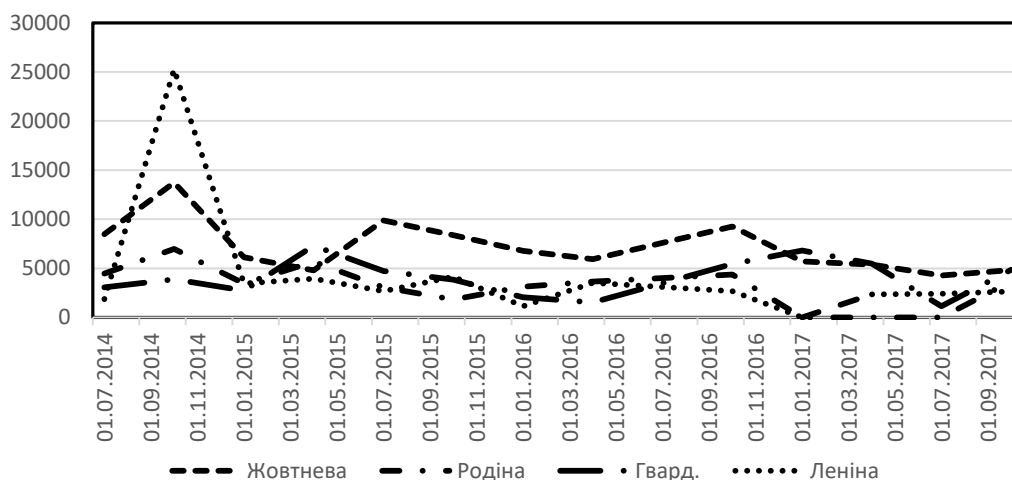


Рис. 1. Споживання електроенергії на ДСФ залізрудних шахт Кривбасу

Так, рис. 1 – споживання електроенергії ДФС – засвідчує найбільший рівень електроспоживання відмічений на ш. «Леніна» у період з 01.09.2014 по 01.11.2014. В означений період спостерігається суттєве збільшення і для ш. «Жовтнева». Період найменшого споживання відповідає: 01.05.2017 – 01.07.2017. Споживання електроенергії ДФС для шахт «Гвардійська», «Жовтнева», «Родіна» в період з 01.01.2015 по 01.09.2017 характеризується відносно стабільністю на відміну для ш. «Леніна».

На рис.2 відображено споживання електроенергії пристроями відливу. На відміну від споживання електроенергії складовими ДФС, рівні споживання електроенергії пристроями водовідливу мають значно більше значення. Для ш. «Родіна» відповідають періоду 01.07.2014 – 01.09.2014, та з 01.07.2017 по 01.09.2017. Взагалі, споживання електроенергії пристроями відливу для ш. «Родіна» характеризується значною нерівномірністю, що може свідчити про технічні проблеми роботи пристроїв. Для ш. «Жовтнева», «Гвардійська», «Леніна» споживання електроенергії можна охарактеризувати як відносно стабільне. Найменше споживання електроенергії зафіксовано для ш. «Гвардійська».

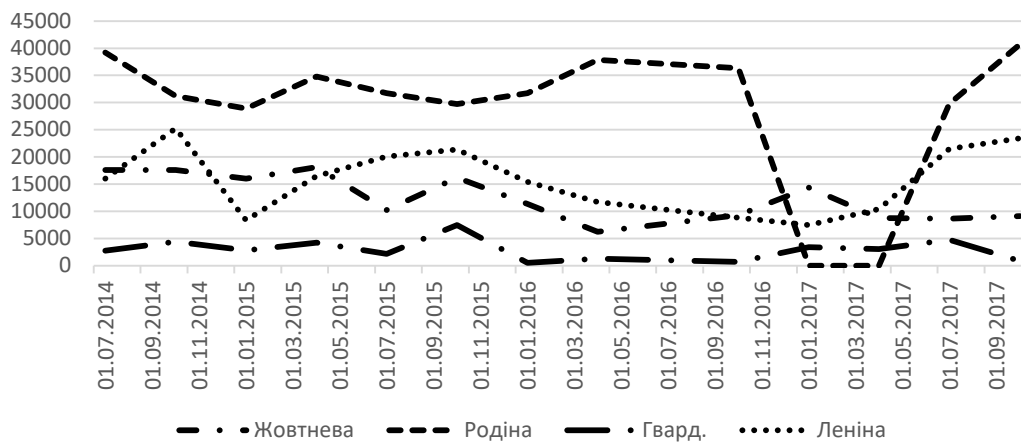


Рис. 2. Споживання електроенергії на водовідливних установках залізорудних шахт Кривбасу

Рис.3 відповідає опису споживання електроенергії вентиляційними пристроями для залізорудних підприємств Криворізького регіону. Проблематичним можемо вважати споживання електроенергії вентиляційними пристроями для ш. «Родіна», що характеризується значним коливанням. Найвищі значення зафіксовано в період з 01.09.2014 по 01.03.2015. Відносно стабільним вважається споживання електроенергії вентиляційними пристроями ш. «Леніна». Найнижчі значення споживання електроенергії вентиляційними пристроями зафіксовано для ш. «Жовтнева» в період з 01.09.2014 по 01.11.2014.

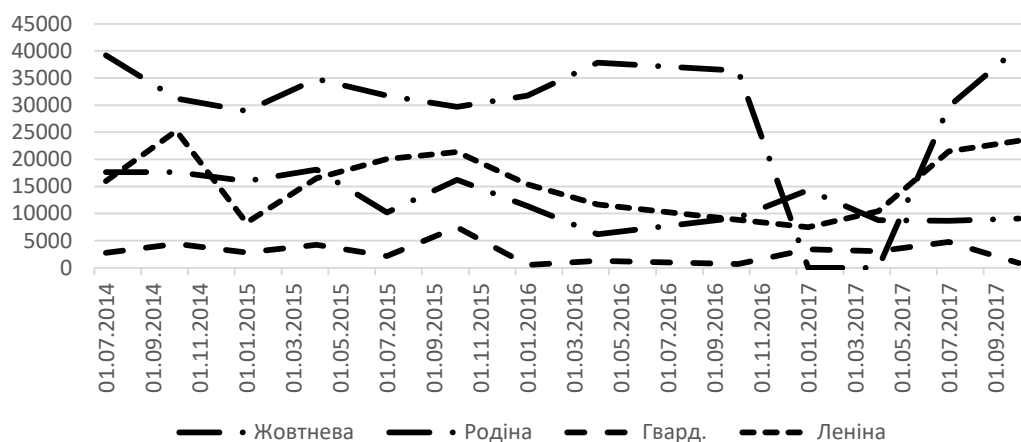


Рис. 3. Споживання електроенергії на вентиляційних установках залізорудних шахт Кривбасу

Візуальний аналіз споживання електроенергії пристроями Ск. Пу проводимо відповідно до рис. 4. Вирізняються ш. «Леніна» і «Родіна», що мають найнижчі значення споживання елект-

роенергії пристроями Ск. Пу в період з 01.01.2017 по 01.03.2017. Загальна характеристика споживання електроенергії пристроями Ск. Пу для підприємств Криворізького регіону – відносно нестабільна.

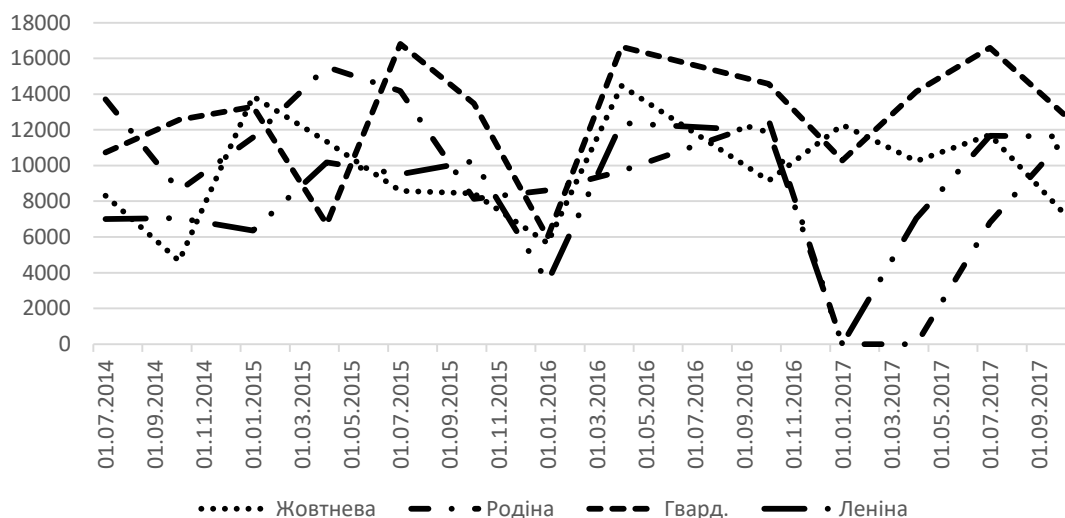


Рис.4. Споживання електроенергії на СКПУ залізорудних шахт Кривбасу

Таким чином, можна стверджувати, що період з 01.01.2017 по 01.03.2017 вважається проблематичним для ш. «Родіна» – відсутнє електроспоживання для всіх пристроїв, що аналізуються. Найбільше споживають електроенергії пристрої водовідливу. Найменші значення споживання електроенергії відповідають пристроям ДФС. Для практичного застосування інформаційно-аналітичної інформації застосовуємо відповідні кількісні методи. Побудова регресійних моделей дозволить провести більш детально дослідити енергоємні складові щодо залізорудних підприємств. Використовуючи методологію багатofакторного регресійного аналізу будемо багатofакторні регресійні моделі (табл. 1).

Таблиця 1

Багатofакторні моделі залізорудних підприємств Криворізького регіону

Підприємство	Багатofакторне регресійне рівняння	R ²
ш. «Жовтнева»	$Y = 60421 + 0.37x_1 - 0.9x_2 - 0.35x_3 - 0.66x_4$	0.59
ш. «Гвардійська»	$Y = 134472.1 - 0.14x_1 - 0.21x_2 - 2.01x_4$	0.29
ш. «Родіна»	$Y = 61237.34 + 0.45x_1 + 0.01x_2 + 0.17x_3 - 0.49x_4$	0.87
ш. «Терновська»	$Y = 10719 - 0.21x_1 + 2.35x_2 + 0.18x_3 - 2.32x_4$	0.84

де x_1 – значення рівнів споживання ЕЕ для Ск. ПУ; x_2 - значення рівнів споживання ЕЕ для вентиляції; x_3 - значення рівнів споживання ЕЕ для водовідведення; x_4 - значення рівнів споживання ЕЕ для ДСФ.

Аналітичні позитивні властивості регресійних моделей полягають в тому, що, по-перше, точно визначається фактор, за яким виявляються резерви підвищення результативності управління електроспоживанням; по-друге, виявляються об'єкти з більш високим рівнем ефективності; по-третє, виникає можливість кількісно виміряти економічний ефект від впровадження передового досвіду, проведення організаційно-технічних заходів [16].

Інтерпретація моделей регресії здійснюється методами тієї галузі знань, до якої відносяться досліджувані явища. Але будь-яка інтерпретація починається зі статистичної оцінки рівняння регресії в цілому і оцінки значущості входять в модель факторних ознак, тобто зі з'ясування, як вони впливають на величину результативної ознаки. Чим більше величина коефіцієнта регресії, тим значніше вплив даної ознаки на модельований. Особливе значення при цьому має знак перед коефіцієнтом регресії, який говорить про характер впливу на результативну ознаку. Якщо факторний ознака має знак плюс, то зі збільшенням даного чинника результативний ознака зростає якщо факторний ознака має знак мінус, то з його збільшенням результативний ознака зменшується. Коефіцієнти регресії показують інтенсивність впливу факторів на результативний показник. Таким чином, коефіцієнти регресії характеризують ступінь значущості

окремих факторів для підвищення рівня результативного показника. Конкретні значення коефіцієнтів регресії визначають за емпіричними даними згідно з методом найменших квадратів

Висновки та напрямок подальших досліджень. Проведені дослідження дозволяють дійти наступних висновків. Для ш. «Жовтнева», найбільший позитивний вплив на загальне споживання ЕЕ мають значення рівнів споживання ЕЕ для Ск. ПУ, тобто збільшення споживання ЕЕ відповідає збільшенню загального електроенергії. Негативний вплив відзначається факторами впливу для вентиляції, водовідведення, ДСФ. Слід зауважити, що коефіцієнт детермінації становить 0,59 – свідчить про можливість практичного застосування при вирішенні управлінських задач щодо ефективності споживання ЕЕ. Для ш. «Родіна» позитивний вплив мають значення рівнів споживання ЕЕ для Ск. ПУ, значення рівнів споживання ЕЕ для вентиляції, значення рівнів споживання ЕЕ для водовідведення. Негативний вплив відзначається для рівнів споживання ДСФ. Коефіцієнт детермінації становить 0,87, що свідчить про вірно відібрані фактори для оцінювання впливу на загальне споживання ЕЕ по шахті і безумовно може бути рекомендовано для практичного застосування. Для ш. «Терновська», відмічається позитивний вплив рівнів електроспоживання на загальне споживання ЕЕ факторів вентиляції, Водовідведення. Негативний вплив відповідно стосується факторів рівнів споживання ЕЕ для Ск. ПУ, для ДСФ. Коефіцієнт детермінації становить 0,84 – рекомендовано для практики управлінських рішень щодо ефективності споживання ЕЕ. Аналіз регресійної моделі для ш. «Гвардійська», свідчить про неможливість практичного застосування результатів моделювання (Коефіцієнт детермінації становить 0,29). Слід зауважити, що в моделі не відображений фактор впливу рівнів споживання для водовідведення. Становиться очевидним, по – перше, статистична інформація щодо рівнів споживання складових для ш «Гвардійська» є недостатньою; по-друге, специфічні технологічні процеси, що відбуваються на ш. «Гвардійська» потребують перевірки складових факторів впливу. В цілому для всіх підприємств, що аналізувались, характерним є негативний вплив на загальне споживання ЕЕ, факторів, які характеризують складову ДСФ.

Список літератури

1. Синчук И.О., Гузов Э.С., Яловая А.Н. Потенциал энергоэффективности и пути его реализации на производствах с подземными способами добычи железорудного сырья. Монография. Под ред. д.т.н., проф. О.М. Синчука. – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2015. – 296 с.
2. Mike Rycroft. Small pumped water storage systems: a new partner for renewable energy. Technology&business for development 2017. Електронний ресурс : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://www.ee.co.za/article/small-pumped-water-storage-systems-new-partner-renewable-energy.html>
3. Estanislao Pujades, Philippe Orban, Sarah Bodeux, Pierre Archambeau, Sébastien Erpicum, Alain Dassargues, Underground pumped storage hydropower plants using open pit mines: How do groundwater exchanges influence the efficiency. Applied Energy, Volume 190, 2017, Pages 135-146. [https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.093.]
4. Шидловський А. К., Півняк Г. Г., Рогоза М. В., Випанасенко С. І. Геоелектроенергетика та геополітика України. Д.: Національний гірничий університет. 2002. – 282 с/
5. Vilkul, Yu., Azaryan, A., Kolosov, V., Karamanyts, F., Ba-tareev, A. (2015). Suchasnyy stan zalizorudnoyi haluzi, prohnaz rozvytku ta propozyziyi. Sb. Nauch. trudov «Kachestvo mineral'nogo syr'ya». Kryvyi Rih. pp. 9-24.
6. Ступнік М. І., Федько М. Б., Письменний С. В. Проблеми розкриття та підготовки рудних родовищ на глибоких горизонтах шахт Кривбасу. Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2018. – Вип. 47. – С. 3-8. DOI: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-3-8.
7. Дремін А. А. Стратегия энергосбережения при добыче и переработке железных руд. Горный журнал, № 12 2006. – С. 45-47.
8. Праховник А. В., Розен В. П, Дегтярев В. В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий. М.: Недра, 1985. – 232 с.
9. Большов Л. А., Каневский М. Ф., Савельева Е. А. Прогнозирование электропотребления: современные методы и пример исследования. Известия академии наук. Энергетика. – 2004. – №6. – С. 74-93
10. Holt C.C. Forecasting trends and seasonals by exponentially weighted moving averages // O.N.R. Memorandum, Carnegie Inst. of Technology. – 1957. – № 2.
11. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. Учебник для вузов. – М.: ЮНИТИ, 1998. 1352 с.
12. Шевчук С. П. О влиянии внепикового управления электропотреблением водоотлива горных предприятий на допустимое время перерыва в его работе / С. П. Шевчук // Вестник КПИ «Серия горной электромеханики и автоматики» – 1992. – №23. – с. 34-38.
13. O. Sinchuk, I. Sinchuk, I. Kozakevych, V. Fedotov, V. Serebrenikov, N. Lokhman, T. Beridze, S. Boiko, A. Pyrozhenko, A. Yalova. Development of the functional model to control the levels of electricity consumption by underground iron-ore enterprises. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2018. – № 6(3). – С. 20-27.

14. Толмачов С. Т. Оптимізація режимів роботи насосних установок головного водовідливу шахт за критерієм мінімуму вартості електроенергії / С. Т. Толмачов, О. В. Ільченко // Вісник КНУ. Збірник наукових праць, вип. 44, Кривий Ріг – 2017. – с. 137-142.

15. Державна служба статистики України [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/energ/pve/arh_pve_u.htm

16. Разумный Ю. Т, Ильченко Е. С. Проблемы использования водоотливных установок угольных шахт в качестве протрестителей-регуляторов // РВК НГУ Наук. – техн. зб. Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2004. – Вип. 73.

УДК 622.807

В.В. ЄЖОВ, В.М. РЯСНИЙ, кандидати техн. наук

Науково-дослідний інститут безпеки праці і екології в гірничорудній і металургійній промисловості Криворізького національного університету

І.А. ЄВСТРАТЕНКО, канд. техн. наук

Державний воєнізований гірничорятувальний (аварійно-рятувальний) загін ДСНС України, м.Кривий Ріг

З.Р. МАЛАНЧУК, д-р техн. наук, проф., С.М. ЧУХАРЄВ, канд. техн. наук, доц.

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

СТАН АВАРІЙНОСТІ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ГІРНИЧОДОБУВНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Мета. Проаналізувати роботу воєнізованої гірничорятувальної (аварійно-рятувальної) служби, що обслуговувала гірничорудні підприємства регіону у 2020 році. Визначити причини аварій та аварійно-небезпечних ситуацій, що виникають на гірничорудних підприємствах з підземним та відкритим видобутком корисних копалин.

Методи дослідження. Обробка статистичних даних щодо причин виїздів служби за родом аварій та аварійно-небезпечних ситуацій, що виникають на гірничорудних підприємствах.

Наукова новизна. Розроблені заходи щодо підвищення протипожежного захисту гірничодобувних підприємств, заходи щодо попередження аварій та аварійно-небезпечних ситуацій, а також травматизму.

Практична значимість. Домінуючими видами аварій та аварійно-небезпечних ситуацій при використанні технологічного обладнання на відкритих гірничих роботах є пожежі. Проаналізовані резонансні пожежі у моторному відділенні екскаватора, на приводній станції головного конвеєрного штреку шахти, у кабіні машиніста екскаватора, у кабельному поверсі дільниці мокрого розмелювання на гірничорудних підприємствах. Крім пожеж основними факторами аварійності на гірничодобувних підприємствах були: внутрішньошахтний та внутрішньокар'єрний транспорт, рудниковий (шахтний) підйом, нещасні випадки під час виконання планових виробничих завдань (трудових обов'язків).

Результати. На основі проведеного аналізу аварій та аварійних ситуацій при підземному та відкритим видобутку у 2020 році, пов'язаних з обваленнями гірничих порід в експлуатаційних виробках визначені причини: порушення технології при перекріпленні гірничих виробок; неправильно вибрані параметри кріплення, які треба обирати, враховуючи фізико-механічні властивості вміщуючих гірничих порід, у яких розташовані ці виробки. Розроблені відповідні заходи щодо підвищення протипожежного захисту гірничодобувних підприємств, заходи щодо попередження аварій та аварійно-небезпечних ситуацій, а також травматизму від падаючих кусків гірничої породи, заходи щодо попередження аварій та аварійних ситуацій на внутрішньошахтному та внутрішньокар'єрному технологічному транспорті, заходи щодо попередження аварій у стволах шахт, обладнаних механізованими підйомами, а також безпекові заходи загального характеру.

Ключові слова: безпека на гірничих роботах, виробничий травматизм, заходи протиаварійного захисту.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-47-53

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Розглядаючи аварії та нещасні випадки, що сталися на гірничодобувних підприємствах України, можна зробити висновки, що основними причинами є незадовільна організація робіт та технічна підготовка робітників, низький рівень управління гірничими підприємствами.

Аналіз досліджень і публікацій. Зважаючи на важливість питання безпеки робіт на гірничодобувних підприємствах науковцями та виробничниками опубліковано достатню кількість робіт, що розглядають цю тему.

Так, ряд авторів аналізують загальні ризики безпеки при гірничих роботах [1-5]. Представляють практичний інтерес роботи, що висвітлюють питання пожежної безпеки при видобутку

корисних копалин [6-8]. Враховуючи, що пріоритетним питанням є здоров'я людини, актуальними є роботи, що розглядають ці питання [9-13]. Видобуток корисних копалин неможливий без використання потужної гірничої техніки, неправильне поводження з якою може викликати випадки виробничого травматизму [14-16].

Постановка задачі. Проаналізувати стан аварійності на гірничодобувних підприємствах, які обслуговує воєнізована гірничорятувальна служба (ВГРС) та розробити заходи щодо попередження аварій та аварійно-небезпечних ситуацій.

Викладення матеріалу та результати. Воєнізована гірничорятувальна служба (ВГРС), що обслуговує гірничорудні підприємства, щорічно здійснює десятки оперативних виїздів, пов'язаних з різноманітними аваріями та аварійно-небезпечними ситуаціями (у тому числі пожежами), а також необхідністю порятунку працюючого персоналу та надання йому відповідної допомоги. Лише у 2020 році (оперативна діяльність ВГРС за 2021 рік в теперішній час знаходиться на етапі аналізу та узагальнення) таких виїздів було 28.

З цієї загальної кількості виїздів: 14 – припадають на підприємства з підземним видобутком корисних копалин (ПАТ «Кривбасзалізрудком», ПРАТ «СУХА БАЛКА», ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ДП «СхідГЗК», ПРАТ «Запорізький залізорудний комбінат», АТ «Марганецький ГЗК» – вентиляційний ствол); 10 – на підприємства з відкритим видобутком корисних копалин (ПРАТ «ПівніГЗК», АТ «Марганецький ГЗК», ПРАТ «Полтавський ГЗК», ТОВ «Єрстівський ГЗК», ТОВ «Біланівський ГЗК»); 4 – на ТОВ «Миколаївський глиноземний завод».

За родом аварій та аварійно-небезпечних ситуацій оперативні виїзди ВГРС розподіляються таким чином: за фактором «Пожежі» було здійснено 11 оперативних виїздів, у тому числі в умовах шахт – 1, а в умовах відкритих гірничих робіт – 10 виїздів, 5 з яких належать до так званих «степових» пожеж, пов'язаних із загорянням сухостоїв (трави, чагарників, лісопосадок) у санітарно-захисних зонах підприємств; за фактором «Обвалення» здійснено 5 оперативних виїздів. Усі випадки обвалень, що мали місце в 2020 році, сталися на підприємствах з підземним видобутком корисних копалин; за фактором «Внутрішньошахтний та внутрішньокар'єрний транспорт» було здійснено 2 виїзди; за фактором «Рудниковий (шахтний) підйом» – 2 виїзди; за фактором «Нещасний випадок під час виконання планових виробничих завдань (трудових обов'язків)» – 8 виїздів, 2 з яких пов'язані з електроураженням працівників підприємств.

Як впливає з цих даних, частка оперативних виїздів ВГРС у 2020 році становить: на пожежі – 39,29%; на обвалення – 16,67%; на внутрішньошахтний та внутрішньокар'єрний транспорт – 17,86%; на рудниковий (шахтний) підйом – 7,14%; на нещасні випадки – 28,57%.

З наведених даних видно, що домінуючими видами аварій (аварійно-небезпечних ситуацій), як і в попередні роки, є пожежі.

З інформації, отриманої від Державного воєнізованого гірничорятувального (аварійно-рятувального) загону Державної служби з надзвичайних ситуацій України на гірничорудних підприємствах, піднаглядних Криворізькому гірничопромислому управлінню та які обслуговуються ВГРС на договірних умовах, у 2020 році сталося 4 резонансні пожежі: 09.01.2020р. - у моторному відділенні екскаватора САТ-330Д, що перебуває в експлуатації в умовах кар'єру ТОВ «Біланівський ГЗК»; 16.03.2020р. - на приводній станції СК-11 головного конвеєрного штреку шахти №9/10 АТ «Марганецький ГЗК»; 07.04.2020р. - у кабіні машиніста екскаватора ЕКГ-4,6, який перебуває в експлуатації в умовах Грушевського кар'єру АТ «Марганецький ГЗК»; 09.05.2020р. – у кабельному поверсі дільниці мокрого розмелювання ТОВ «Миколаївський глиноземний завод».

Щодо аварій та інших аварійно-небезпечних ситуацій.

Якщо в попередньому (2019 р.) аварій та аварійних ситуацій, пов'язаних з обваленнями, не було зафіксовано, то в 2020 році таких ситуацій було 5, що вказує на серйозні недопрацювання відповідних служб підприємств щодо цього фактору безпеки.

У 2020 році незмінним (порівняно з попереднім роком) виявився показник кількості випадків на внутрішньошахтному та кар'єрному транспорті – 2.

Винятково резонансні аварії (2 випадки) сталися на шахтному підйомі. Внаслідок ситуації, яка склалася в одному з них (шахта «Новокостянтинівська» ДП «СхідГЗК») у момент несподіваної зупинки шахтної кліті під час її руху по стволу, багато гірників отримали важкі тілесні травми та каліцтва. У потенціалі такі аварії могли закінчитися зі ще більш трагічними наслідками.

Підрозділи ВГРС у 2020р. оперативні виїзди здійснили на такі підприємства:

на підприємства з підземним видобутком корисних копалин:

на шахти ПАТ «Кривбасзалізрудком» - 3 рази, з них два випадки відносяться до шахти «Тернівська» (перший – з невідомих причин прохідник дільниці №2 шахти отримав множинні тілесні ушкодження; другий – гірничий майстер був евакуйований на денну поверхню шахти з причини його травмування – закритий перелом лівої гомілки) та один випадок відноситься до шахти «Гвардійська» (під час заміни коушу в баштовому копрі шахти сталося руйнування металоконструкції балки на позначці +36 м. Падаючими елементами металоконструкції було травмовано двох працівників шахти);

на шахти ПРАТ «СУХА БАЛКА» - 2 рази, з них: один випадок відноситься до шахти ім.Фрунзе (під час перекріплення виробки блока 20/26 гор. 1163 м відбулося обвалення порід покрівлі, внаслідок чого виконавець робіт був травмований) і один випадок відноситься до шахти «Ювілейна», на якій також сталося обвалення порід покрівлі (орт скреперування 128 осі гор. 1337 м). Із-під завалу був витягнутий травмований працівник;

на шахти ШУ з підземного видобутку руди ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» - 1 раз на шахту «Артем-1» (внаслідок раптового відключення електроенергії на підйомну машину шахтної кліті №2 відбулося зависання кліті в районі 700 м. У кліті знаходилося 18 працівників шахти);

на шахти ПРАТ «Запорізький залізрудний комбінат» - 2 випадки відносяться до шахти «Експлуатаційна» (перший – в орту 0+15 гор. 940 м на дільниці №5 сталося обвалення гірничої маси. Під завалом опинився машиніст вібронавантажувальної установки без ознак життя. Другий випадок – на гор. 940 м в районі 340 осі «Північ» було виявлено гірника без ознак життя);

на шахти АТ «Марганецький ГЗК» - 2 рази, з них: один випадок відноситься до шахти №3 (під час кріплення очисної виробки стався вивал гірничої маси з її покрівлі загальним об'ємом приблизно 1,5 м³. При цьому був смертельно травмований працівник, що знаходився у місці вивалу. Другий випадок відноситься до шахти №9/10 (на приводній станції СК-11 головного конвеєрного штреку сталася пожежа);

на шахти ДП «СхідГЗК» - 3 рази, з них: два випадки відносяться до шахти «Новокосянтинівська» (перший – внаслідок різкої та несподіваної зупинки шахтної кліті при її русі вгору працівники шахти, що перебували у кліті, були тяжко травмовані. Другий – у районі електровозного депо гор. 300 м, внаслідок удару вагонеткою, було травмовано працівника шахти. Третій випадок відноситься до шахти «Смолінська» – у камері ремонту гірничошахтного обладнання під час виконання трудових обов'язків працівник шахти отримав травму, несумісну із життям;

на шахти ПРАТ «ЦГЗК» – 1 раз. Двоє невідомих несанкціоновано проникли в район непрацюючого вентиляційного ствола. За невідомих обставин зірвалися і впали у ствол на глибину 550 м.

на підприємства з відкритим видобутком корисних копалин:

на об'єкти ПРАТ «ПівнГЗК» - 1 раз: на фабриці огрудкування №1 стався важкий нещасний випадок зі смертельним наслідком – старший агломератник виявився затиснутим між металевою балкою та приводом барабана стрічкового конвеєра АК АГ-34/1;

на поверхневі об'єкти (кар'єр) АТ «Марганецький ГЗК» – 3 рази: один випадок пов'язаний із пожежею в кабіні машиніста екскаватора ЕКГ-4,6 Грушевського кар'єру; два інших випадки пов'язані з займанням сухоостою (сухої трави, чагарників) навколо складу лісоматеріалів та в районі греблі балки Морозова вищезгаданого кар'єру;

на об'єкти ПРАТ «Полтавський ГЗК» - 3 рази: один випадок пов'язаний із падінням з уступу кар'єру гірничого цеху (відмітка – 200 м) легкового автомобіля підрядної організації. Другий випадок - у зв'язку зі знаходженням у несвідомому стані на висоті 5 м (між блоком резисторів та кабіною машиніста навантажувача) електромонтера. Третій випадок пов'язаний з нещасним випадком, що стався під час виконання трудових обов'язків. Конкретно, біля складу готової продукції цеху виробництва окатишів у кабіні тягового агрегату (тепловоза), що лежав на боці, знаходився травмований машиніст;

на об'єкти ТОВ «Єрствівський ГЗК» – 1 раз. Випадок пов'язаний із загорянням на прилеглій до території промзони ГЗК (біля ДПП «Східна») сухоостою. Площа горіння становила приблизно 1,5 га;

на об'єкти ТОВ «Біланівський ГЗК» - 2 рази, з них: один випадок пов'язаний із пожежею, що сталася в моторному відділенні екскаватора САТ-330Д, а інший – з займанням в районі відвалів ГЗК сухою на площі приблизно 3 га;

на поверхневій об'єкти ТОВ «Миколаївський глиноземний завод» – 4 рази, з них: один випадок пов'язаний з пожежею в кабельному поверсі дільниці мокрого розмолу, три інших випадки – з займанням сухою.

З наведених вище відомостей випливає:

частка оперативних виїздів гірничорятувальників на гірничорудні підприємства з підземним видобутком корисних копалин, пов'язаних з аваріями, аварійно-небезпечними ситуаціями, наданням допомоги травмованим гірникам (всього 14 виїздів) склала 50% від загальної (28) кількості виїздів, з яких: 1 виїзд пов'язаний із пожежею (шахта №9/10 АТ «Марганецький ГЗК»); 5 виїздів – з обваленнями (шахта «Експлуатаційна» ПрАТ «ЗЗРК»; шахта «Тернівська» ПАТ «Кривбасзалізрудком»; шахта №3 АТ «Марганецький ГЗК»; шахта ім.Фрунзе та шахта «Ювілейна» ПрАТ «СУХА БАЛКА»); 1 виїзд – з аваріями на внутрішньошахтному транспорті (шахта «Новокостянтинівська» ДП «СхідГЗК»); 2 виїзди – з аваріями на рудниковому (шахтному) підйомі (шахта «Новокостянтинівська» ДП «СхідГЗК», шахта «Артем-1» ШУ з підземного видобутку руди ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»); 8 виїздів – на нещасні випадки під час виконання трудових обов'язків (шахта «Тернівська» - 2 випадки та шахта «Гвардійська» - 1 випадок ПАТ «Кривбасзалізрудком»; шахта «Смолінська» ДП «СхідГЗК» - 2 випадки; шахта «Експлуатаційна» ЗЖРК - 1 випадок та фабрика огрудування №1 ПрАТ «ПівнГЗК» - 1 випадок);

частка оперативних виїздів ВГРС на підприємства з відкритим видобутком (розробкою) корисних копалин, пов'язаних з аваріями, аварійно-небезпечними ситуаціями та наданням допомоги потерпілим (загалом 14 виїздів, з них на ГЗК – 10 виїздів та на ТОВ «Миколаївський глиноземний завод» - 4 виїзди), також становить 50%. При цьому виїзди були пов'язані: з пожежами (займаннями) – 11 разів (ТОВ «Біланівський ГЗК» - 2 випадки, ТОВ "Єривський ГЗК" – 1, АТ «Марганецький ГЗК» - 4, ТОВ "Миколаївський глиноземний завод" - 4); з падінням з уступу кар'єру автомобіля – 1 випадок; з нещасними випадками під час виконання трудових обов'язків – 3 виїзди (ПрАТ «Полтавський ГЗК» - 2 випадки, ПрАТ «ПівнГЗК» - 1).

Показники оперативної діяльності ВГРС на гірничорудних підприємствах за період 2013-2020 років (у динаміці) наведено на діаграмі (рис. 1).

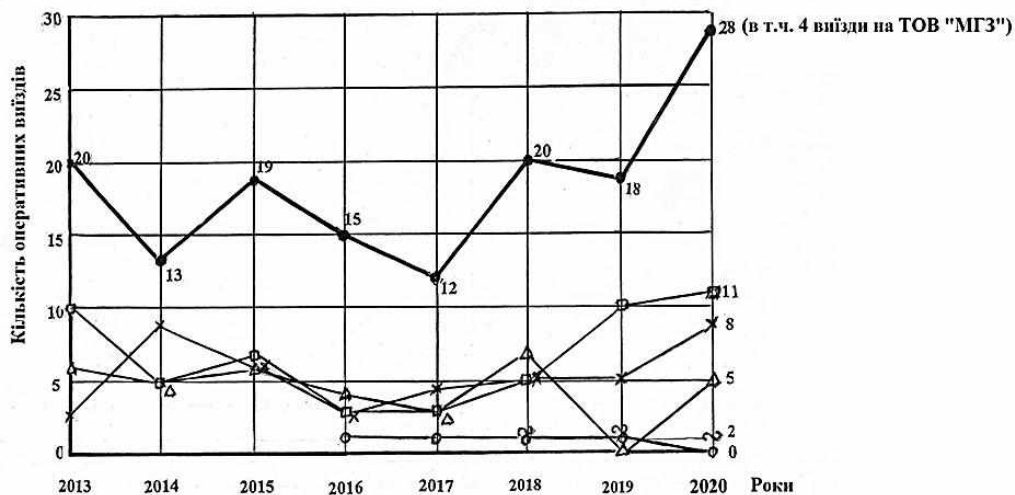


Рис. 1. Показники оперативної діяльності ВГРС, пов'язаної з ліквідацією різного виду аварій (аварійно-небезпечних ситуацій) та порятунком людей, за період 2013-2020 р.р.: 1 -●- - загальна кількість виїздів гірничорятувальних підрозділів (ДВГРП); 2 -□- - виїзди на аварії та аварійні ситуації, пов'язані з пожежами; 3 -Δ- - виїзди на аварії та аварійні ситуації, пов'язані з обваленнями; 4 - ~ - виїзди на аварії та аварійні ситуації, пов'язані з експлуатацією гірничого обладнання; 5 -○- - виїзди на аварії, пов'язані з падінням людей у вертикальні (підняття) вироблення; 6 -х- - виїзди на аварії, пов'язані з порятунком людей та наданням їм необхідної допомоги

Виходячи з наведених на цій діаграмі даних, на гірничорудних підприємствах у 2020 році порівняно з 2019 роком загальна кількість оперативних виїздів ВГРС збільшилась із 18 до 28.

Внаслідок аварій, аварійно-небезпечних ситуацій, а також нещасних випадків у 2020 році людські втрати становили 7 осіб (з урахуванням 2-х осіб, які несанкціоновано проникли в район недіючого вентиляційного ствола ПРАТ «ЦГЗК»). У 2019 році такі втрати становили 8 осіб.

Смертельні випадки у 2020 році на гірничорудних підприємствах були пов'язані з: обваленнями у гірничих виробках шахт – 2 особи; ураженням електрострумом – 2 особи; нещасними випадками під час виконання виробничих обов'язків – 1 людина; невідомих причин – 2 особи.

При пожежах і загоряннях, що мали місце в 2020 році, не зареєстровано жодного випадку загибелі або травмування працівників підприємств. Проте зафіксовано матеріальні збитки від них, спричинені пошкодженням основних фондів підприємств.

На оперативні виїзди рятувальники задіяли, як правило, 1-2 відділення особового складу. В екстремальних ситуаціях, пов'язаних із рятуванням людей та наданням їм допомоги, були задіяні сили від 2 до 3 відділень.

Окрім сил, що залучалися до ліквідації аварій (аварійних ситуацій) чи нещасних випадків у відповідності з дислокаціями, у готовність до виїзду знаходилися також чергові сили підрозділів (1-2 відділення) та спеціальні технічні засоби.

Найчастіше оперативні виїзди ВГРС на аварії, аварійно-небезпечні ситуації та нещасні випадки здійснювалися у II-й робочій зміні. Так, якщо виїздів в I-у та III-ю зміни протягом року було відповідно 8 і 6, то в II-у зміну їх було 12. Це можна пояснити, перш за все, більшою кількістю людей, які працюють у цю зміну.

Поквартально виїзди ВГРС відбувалися: у 1-му кварталі – 10 разів; у 2-му – 10 разів; у 3-му – 5 разів та 4-му – 3 рази. Найбільша кількість виїздів, як видно, припадає на 1-й та 2-й квартали.

Щодо помісячного розподілу виїздів. Найбільше їх припадає на березень та квітень місяці – відповідно 6 та 7 разів. У серпні – 4 рази, у листопаді – 3 рази, а у січні, лютому та травні – по 2 рази на місяць. У червні та у вересні таких виїздів було по 1 разу на місяць, а у липні, жовтні та грудні виїздів не було зафіксовано.

Незважаючи на відсутність у 2020 році категорійних аварій, стан справ з аварійністю та травматизмом, особливо смертельним, продовжує залишатися несприятливим.

В черговий раз звертаємо увагу на те, що основними причинами виникнення аварій, аварійно-небезпечних ситуацій, а також нещасних випадків є низька трудова, виробнича та технологічна дисципліна працюючого персоналу, незадовільна організація робіт, недоробки керівників та посадових осіб у створенні безпечних та безаварійних умов праці, ігнорування ними та виконавцями робіт вимог закону України «Про охорону праці».

Негативно відбивається на показниках аварійності та травматизму, як зазначалося і раніше, зношеність основних фондів, незадовільне забезпечення робочих місць необхідною апаратурою контролю, а працюючих – засобами індивідуального захисту, недоробки у профілактичній діяльності та системній роботі з питань охорони праці.

Основні причини виникнення пожеж (займань): порушення правил влаштування та експлуатації технологічного обладнання (в т.ч. електроустаткування), а також засобів та систем пожежогасіння. Неабияку роль відіграє і фактор необережного поводження з вогнем.

Загалом можна зробити висновок, що основні причини аварій і аварійно-небезпечних ситуацій, що сталися в 2020 році, – організаційні. У %-му відношенні їх частка досягає 75-80%. Тим не менш, не можна скидати з рахунків інші, насамперед, технічні, причини. Аварія-катастрофа, що сталася у 2018р. на Аннівському кар'єрі ПРАТ «ПівніГЗК», що призвела до групового нещасного випадку зі смертельним наслідком (загинули троє людей), а також 2 нещасні випадки, що сталися в 2019р. на внутрішньошахтному транспорті (шахти ім.Фрунзе та «Ювілейна» ПРАТ «СУХА БАЛКА»), один із яких завершився смертю гірника, – є підтвердженням вищесказаного.

Висновки та пропозиції. На основі детального аналізу причин та обставин аварій та аварійно-небезпечних ситуацій, що сталися в 2020 році, а також з метою їх запобігання та недопущення, підвищення протиаварійного захисту гірничорудних підприємств, зменшення кількості випадків травмування працюючого персоналу НДІБТГ КНУ (як головний НДІ з питань охорони праці та промислової безпеки в гірничорудній галузі) були розроблені відповідні заходи, які є на сьогодні пріоритетними:

заходи щодо підвищення протипожежного захисту підприємств, у яких особлива увага звернена на найбільш небезпечні у протипожежному відношенні об'єкти, такі як конвеєрні тракти, кабельні споруди, маслостанції, електропідстанції, склади вибухових матеріалів та ін.;

заходи щодо попередження аварій та аварійно-небезпечних ситуацій, а також травматизму від падаючих кусків та обвалень;

заходи щодо попередження аварій та аварійних ситуацій на внутрішньошахтному та внутрішньокар'єрному технологічному транспорті;

заходи щодо попередження аварій та аварійно-небезпечних ситуацій у вертикальних стволах шахт, обладнаних механізованими підйомами;

заходи загального характеру.

Практична реалізація цих заходів дозволить підвищити рівень протиаварійного (у тому числі протипожежного) захисту підприємств, рівень безпеки праці працюючого персоналу, а також надійність та ефективність дій гірничорятувальної служби, яка обслуговує ці підприємства.

Список літератури

1. Інформаційно-аналітична довідка про виникнення НС в Україні у 2020 році. Сайт Державної служби України з надзвичайних ситуацій. [Електронне джерело] <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-za-kvartal/119288.html>
2. Глива В.А., Березуцький В.В., Березуцька Н.Л., Халіль В.В. Аудит ризиків безпеки на робочому місці, «Технологічний аудит і резерви виробництва», 2016 №2/3 (28), ISSN 2226-3780, DOI: 10.15587 / 2312-8372.2016.66731, С.12-17
3. Євстратенко І.А., Ошмянский І.Б., Євстратенко Л.І. Гірничорятувальна справа на гірничорудних підприємствах – Кривий Ріг, Діоніс (ФОП Чернявський Д.О.), 2012. – С.338.
4. Berezutskyi V. Theoretical foundations of safety, Monograph, NGPU, Kharkov, С.170, 1999
5. Маланчук З.Р. Транспортні системи гірничих підприємств (шахти та збагачувальні фабрики) [Електронне видання] : навч. посіб. / З. Р. Маланчук, В. Я. Корнієнко, М. М. Марчук [та ін.]. – Рівне : НУВГП, 2020. – 157 с.
6. Швагер Н.Ю. Розгляд технологій гасіння шахтних пожеж / Н.Ю. Швагер, Т.А. Комісаренко, О.В. Нестеренко // Вісник Криворізького національного університету. - 2019. - Вип. 48. - С. 126-132
7. Ryasnoy V.M., Shchokin V.P., Chukharev S.M. Safety of work of mining workers and anti-saving protection of mining enterprise: problems and solutions. В колективній монографії «Modernization and engineering development of resource-saving technologies in mineral mining and processing», Petroşani, University of Petroşani, Romania, 2019, С. 71-82.
8. Алексеев М.О., Голінько О.В. Автоматичний контроль чутливості датчиків стаціонарних термокаталітичних аналізаторів метану, Гірничий вісник, випуск 107, 2020, С.16-22
9. Лапшин О. О. Постановка проблеми нейтралізації шкідливих газів при здійсненні вибухових робіт в гірничих виробках / О. Є. Лапшин, А. К. Гацький, О. О. Лапшин // Вісник КТУ. – 2005. № 10. – С. 8-10.
10. Фролов А.В., Телегин В.А. Исследование высоконапорного гидрообеспыливания пылеулавливающими водовоздушными ежекторами с плоскоструйными форсунками // Горный информационно-аналитический бюллетень. Аэрология. – Вып.. 5. 2008. – С. 164-168.
11. Швагер Н.Ю., Заїкіна Д.П. Аналіз професійної захворюваності на гірничодобувних підприємствах Кривбасу, Вісник КНУ, випуск 46, 2018 С.99-104
12. Лапшин О. Є., Лапшин О. О., Лапшина Д. О. Підвищення ефективності очищення рудникового повітря в гірничих виробках шахт, Вісник КНУ, випуск 46, 2018, С. 141-147
13. Лапшин О.Є., Лапшин О.О., Лапшина Д.О. Визначення техніко-економічних параметрів зрошувальних систем для очищення повітря в гірничих виробках шахт, Вісник КНУ, випуск 45, 2017, С.160-167
14. Рясний В.М., Чухарев С.М., Євстратенко І.А. Впровадження заходів щодо підвищення рівня безпеки праці гірників. Збірник матеріалів II міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Новітні технології в освіті, науці та виробництві», м. Покровськ ДВНЗ «ДонНТУ» 2020, С.265-268.
15. Рясной В.М., Чухарев С.М., Евстратенко И.А., Шепель А.Л. Безопасность горняков – главный критерий реализации плана технического прогресса горноспасательной службы. ТРУДЫ Международной научно-практической online конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №12) 18-19 июня 2020 г. Изд. Карагинский государственный технический университет, С.1273-1276
16. Рясний В.М., Чухарев С.М., Євстратенко І.А. Проведення підняттявих гірничих виробок в умовах шахт гірничорудних підприємств України: проблеми та вирішення. Матеріали III Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції Новітні технології в освіті, науці та виробництві, Покровськ ДВНЗ «ДонНТУ», 2021, С.170-176.

УДК 622.7: 534

В. С. МОРКУН, Н. В. МОРКУН, доктори технічних наук, професори,
В. В. ТРОНЬ, канд. техн. наук, доц., О. Ю. СЕРДЮК, асист.,
А. А. ГАПОНЕНКО, І. А. ГАПОНЕНКО, наукові співробітники,
Криворізький національний університет

ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БАЗИ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ОСАДЖЕННЯ ЧАСТОК ТВЕРДОЇ ФАЗИ РУДНОЇ ПУЛЬПИ У ДЕШЛАМАТОРІ

Метою дослідження є розробка методів та засобів ультразвукових вимірювань характеристик процесу осадження частинок твердої фази пульпи та оцінка можливості їх застосування у системі автоматичного керування дешламатором для підвищення ефективності його роботи.

Методи дослідження. Для кількісного оцінювання мінеральних продуктів використано показник розподілу мінеральних часток по фракціях з різними фізичними властивостями, а також показник розподілу корисних компонентів. Зазначені показники дозволяють виконати кількісне оцінювання рудного матеріалу. Для кількісного оцінювання ефективності роботи технологічних апаратів використовуються сепараційні характеристики.

Наукова новизна. Пропонований метод формування керування процесом згущення заснований на оцінці зміни густини пульпи і гранулометричного складу її твердої фази в початковій стадії осадження у дешламаторі, що дозволяє спрогнозувати характеристики згущеного продукту і за рахунок цього врахувати велику інерційність системи. З цією метою вимірюються характеристики ультразвукових хвиль, що пройшли через контрольований об'єм пульпи, який осаджується у дешламаторі.

Практичне значення. Визначені параметри дозволяють підтримувати продуктивність процесу дешламації у відповідності до характеристик рудної суспензії мінімізуючи втрати корисного компонента. Завдяки отриманню оперативної інформації щодо характеристик процесу осадження часток твердої фази рудної суспензії вже на його початковій стадії вдається зменшити тривалість перехідних процесів у системі автоматичного керування.

Результати. Визначення вже на початковій стадії процесу осадження частинок подрібненої руди у дешламаторі таких показників, як динаміка зміни густини пульпи і гранулометричного складу її твердої фази дозволяє враховувати коливання параметрів технологічного потоку. Це досягається як за рахунок регулювання кількості флокулянту, так і швидкості відкачування продукту. Система автоматичного керування на основі отриманої інформації та сучасних програмно-технічних засобів дозволяє долати повільну динаміку відгуку на керуючі впливи та перехресні впливи керованих змінних. Для досягнення оптимальних показників процесів згущення-дешламації системи керування даними процесами мають бути сформовані як модулі ієрархічної структури управління всім технологічним процесом збагачення руди. Запропонований підхід дозволяє врахувати характер розподілу часток твердої фази рудного матеріалу у дешламаторі за крупністю, встановити характеристики вихідного продукту дешламатора. у відповідності до параметрів процесу осадження часток руди і за рахунок цього зменшити втрати корисного компонента на 0,6–0,7 %.

Ключові слова: дешламатор, ультразвук, автоматичне керування, моделювання, залізна руда, пульпа.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-53-57

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Розроблений на даний час математичний апарат дозволив створити засоби для проектування, моделювання та управління промисловими згущувачами [1-3]. Водночас, застосування математичних моделей ускладнюється через відсутність можливості експериментального визначення параметрів відповідних залежностей. Знання зазначених параметрів математичних моделей необхідне при формуванні керування та експлуатації подрібнюючих млинів, класифікуючих агрегатів, флотаційних машин та магнітних сепараторів, обладнання для поділу твердої та рідкої фаз, а також засобів транспортування концентрату та хвостів. Для синтезу ефективного керування процесами згущення залізородної сировини мають бути вирішені проблеми, пов'язані із великими сталими часу, нелінійністю характеристик, наявністю збурюючих впливів і завад [4].

Аналіз досліджень і публікацій. Досить великий період відбору проб пульпи для аналізу в існуючій системі управління дешламатором, а також наявність збурюючих впливів, обумовлених зміною витрати, густини і характеристик вихідної пульпи не дозволяє гарантувати підтримку густини вихідної пульпи у відповідності до технологічного регламенту. Для подолання цього недоліку доцільною є модернізація системи керування магнітним дешламатором.

Результати дослідження процесу зневоднення суспензій, тверда фаза яких складається головним чином з надтонких частинок представлено у праці [5]. Проте у даній роботі не враховано питання формування керуючих впливів безпосередньо в ході технологічного процесу для підвищення ефективності процесів згущення.

Метод вимірювання фазової швидкості та згасання ультразвуку в суспензіях з метою оцінки їх характеристик розглянуто у роботі [6]. Результати досліджень показують, що фазова швидкість ультразвукових хвиль збільшується зі збільшенням кількості дрібних частинок в суспензії. Дисперсія обумовлена наявністю твердої фази та корелює з її масовою часткою. Результати експериментів показують, що можливе зворотне обчислення властивостей пульпи шляхом підгонки моделі до експериментальних даних, якщо відомий розподіл розмірів часток твердої фази.

Традиційне управління дешламатором ґрунтується на використанні одноконтурних систем керування з пропорційно-інтегральними (ПІ) регуляторами [7]. Водночас, як показує практика, така архітектура керування не є оптимальною для керування процесом із повільною та складною динамікою. Залежно від технологічної схеми, що використовується на підприємстві, можуть бути поставлені різні цілі для оптимізації продуктивності згущувача: цільова густина продукту використовується для забезпечення оптимального вмісту твердих частинок у хвостах, оптимального ступеня видалення води для млина тощо. Заданий рівень осаду використовується для отримання оптимального завантаження згущувача без навантаження приводного механізму. Тиск на дні дешламатора використовують як показник запасу твердих частинок. Це допомагає системі визначити, чи високий рівень шару результатом зниження швидкості осідання або збільшення концентрації твердих частинок. У деяких випадках цільовий момент, що крутить, використовується як показник прийнятної реології нижнього потоку.

Утримувати всі релевантні змінні в допустимих межах, одночасно, забезпечуючи при цьому оптимальний контроль відсоткового вмісту сухих речовин у потоці - це те, чого прагнуть багато авторів при формуванні стратегії управління згущувачами [8-10].

Однак за будь-якої стратегії управління добре мати якомога більше інформації про значення важливих змінних. Що стосується дешламатором можна виміряти кілька величин. Це може бути, наприклад, крутний момент приводу грабель, рівень шару, тиск на дні дешламатора, об'ємна витрата на вході та виході, а також відсоток твердого потоків. Додаткові виміри дозволяють реалізувати і ефективніші стратегії управління [11].

Постановка завдання. Метою виконаних досліджень є розробка методів та засобів ультразвукових вимірювань характеристик процесу осадження частинок твердої фази пульпи та оцінка можливості їх застосування у системі автоматичного керування дешламатором для підвищення ефективності його роботи.

Викладення матеріалу і результати. Технологічні лінії збагачення складаються, як правило, з декількох послідовно розташованих стадій, кожна з яких включає такі основні технологічні операції: подрібнення, класифікація, магнітна сепарація. Метою цих операцій є розкриття рудних зростків та розділення часток різних мінералів один від одного шляхом скорочення крупності мінеральних зерен до 0,1 мм і менше.

Для кількісного оцінювання мінеральних продуктів крім показника розподілу мінеральних часток $\gamma(\xi)$ по фракціях з різними фізичними властивостями ξ , зазвичай використовують також показник розподілу корисних компонентів $\beta(\xi)$. Показники $\gamma(\xi)$ і $\beta(\xi)$ дозволяють виконати кількісне оцінювання рудного матеріалу. Для кількісного оцінювання ефективності роботи технологічних апаратів використовуються сепараційні характеристики $\varepsilon(\xi)$.

Дешламатор є невід'ємною складовою технологічної лінії збагачення руди та результати його роботи безпосередньо впливають на якісно-кількісні показники отримуваних продуктів.

У роботах [1,11] показано, що система автоматичного керування дешламатором має забезпечувати ефективність його роботи, а саме: стабілізувати показники процесу згущення, формувати концентрацію згущеного продукту з урахуванням вимог технологічного процесу, мінімізувати витрати флокулянту. Система керування здійснює безперервну корекцію регульованих параметрів процесу на основі результатів оперативного вимірювання його характеристик. Оптимальні умови роботи дешламатора визначаються за характеристиками встановленого режиму, а система автоматичного керування використовується для стабілізації його роботи при вибраних значеннях параметрів процесу.

Виділяють такі параметри процесу згущення. Вихідними параметрами є: концентрація згущеного продукту та рівень осаду. Керованими параметрами є: об'ємна витрата згущеного продукту та витрата флокулянту. Режимними параметрами є: функція густини потоку твердого та ефективний тиск твердого. До збурюючих факторів відносять: гранулометричний склад, густину вхідного продукту та його витрату. На практиці здійснюють вимірювання таких пара-

метрів: густина вхідного продукту, густина згущеного продукту, рівень осаду, тиск на дно, крутний момент, мутність зливу, величина струм насоса згущеного продукту.

У роботах [12,13] пропонуються різні математичні моделі процесу згущення рудної сировини. Наприклад, прийнята міжнародному рівні феноменологічна модель, описує процес згущення суспензії у дешламаторі з урахуванням виродженого параболічного диференціального рівняння другого порядку [14,15]

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} (q\varphi + f_{bk}(\varphi)) = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{f_{bk}(\varphi)\sigma_c'(\varphi)\partial\varphi}{\Delta\rho\varphi g} \right), \quad (1)$$

де (z, t) – вертикальна спрямована вгору просторова координата і час, φ – об'ємна частка твердого, $q(t)$ – об'ємна витрата (об'єм згущеного продукту на одиницю площі згущувачів), $f_{bk}(\varphi) = \varphi v_s(\varphi)$ – густина потоку твердого по Кінчу, $v_s(\varphi)$ – початкова швидкість осідання продукту при концентрації φ , $\sigma_c(\varphi)$ – ефективний тиск твердого, $\Delta\rho = \rho_s - \rho_f$ – різниця густин твердого та рідини, g – прискорення сили тяжіння. Дана модель та інші запропоновані моделі демонструють той факт, що наявність інформації про фактичну поведінку частинок твердої фази пульпи в процесі її осадження дозволяє спростити формування керуючих впливів процесу згущення у дешламаторі.

Пропонований метод формування керування процесом згущення заснований на оцінці зміни густини пульпи і гранулометричного складу її твердої фази в початковій стадії осадження у дешламаторі, що дозволяє спрогнозувати характеристики згущеного продукту і за рахунок цього врахувати велику інерційність системи. З цією метою вимірюються характеристики ультразвукових хвиль, що пройшли через контрольований об'єм пульпи, який осаджується у дешламаторі [6,16].

Позначимо інтенсивність ультразвукового сигналу при проходженні ним фіксованої відстані в пульпі через [17]

$$\xi = I_0 \exp \left\{ -\frac{1}{V} \sum_{i=1}^k \sigma(r_i) Z \right\} \quad (2)$$

де $\sigma(r_i)$ – перетин згасання ультразвуку на частинках радіусу r_i .

Дисперсія цієї величини визначиться виразом

$$D_\xi = M(\xi - \langle \xi \rangle)^2 = M(\xi^2 - 2\xi \langle \xi \rangle + \langle \xi \rangle^2) = M\xi^2 - \langle \xi \rangle^2. \quad (3)$$

Враховуючи що

$$\xi^2 = I_0 \exp \left\{ -\frac{2}{V} \sum_{i=1}^k \sigma(r_i) Z \right\}, \quad (4)$$

отримаємо

$$M\xi^2 = \sum_{k=0}^{\infty} M \left(\frac{\xi^2}{k} \right) F(k). \quad (5)$$

Математичне сподівання величини для фіксованого числа подрібнених частинок k матеріалу в контрольованому обсязі:

$$M \left(\frac{\xi^2}{k} \right) = \left[\int_0^{\infty} e^{\frac{2}{V}\sigma(r)Z} F(r) dr \right]^k = \eta_1^k; \quad (6)$$

$$M(\xi^2) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\eta_1^k \bar{N}^k e^{-\bar{N}}}{k!} = e^{-\bar{N}(1-\eta_1)}; \quad (7)$$

$$M(\xi^2) = I_0^2 \exp \left\{ -nV \left(1 - \int_0^{\infty} e^{-\frac{2}{V}\sigma(r)Z} F(r) dr \right) \right\}. \quad (8)$$

Середнє значення величини сигналу, що пройшов через контрольований об'єм пульпи V

$$\langle \xi \rangle = I_0 \exp \left\{ -nV \left(1 - \int_0^{\infty} e^{-\frac{1}{V}\sigma(r)Z} F(r) dr \right) \right\}. \quad (9)$$

Підставимо знайдені значення у вираз (3)

$$D\xi = I_0^2 \exp \left\{ -nV \left(1 - \int_0^{\infty} e^{-\frac{2}{V}\sigma(r)Z} F(r) dr \right) \right\} - I_0^2 \exp \left\{ 2nV \left[1 - \int_0^{\infty} e^{-\frac{1}{V}\sigma(r)Z} F(r) dr \right] \right\}. \quad (10)$$

Виконаємо перетворення доданків і введемо позначення

$$\psi = \exp \left\{ \frac{nZ^2}{V} \int_0^{\infty} \sigma^2(r) F(r) dr \right\}; \quad (11)$$

$$\frac{\sqrt{D\xi}}{\langle \xi \rangle} = \sqrt{\psi - 1} = a. \quad (12)$$

Тоді $\psi = 1 + a^2$.

Враховуючи що $\sqrt{\psi} \approx 1$, отримаємо

$$\langle \xi \rangle = I_0 \exp \left\{ \frac{-ZW \int_0^\infty \sigma(r)F(r)dr}{\int_0^\infty 4/3\pi r^3 F(r)dr} \right\} \quad (13)$$

і, отже

$$\ln \frac{I_0}{\langle \xi \rangle} = ZW \frac{\int_0^\infty \sigma(r)F(r)dr}{\int_0^\infty 4/3\pi r^3 F(r)dr} \quad (14)$$

Визначимо характеристичну функцію

$$S' = \frac{\ln \psi}{\ln I_0 / \langle \xi \rangle} = \frac{Z \int_0^\infty \sigma^2(r)F(r)dr}{V \int_0^\infty \sigma(r)F(r)dr} \quad (15)$$

З останнього виразу видно, що величина S' є функцією крупності частинок твердого у пульпі. Таким чином, вимірюючи параметри I_0 , $\langle \xi \rangle$, $D\xi$ та обчислюючи параметр S' , можна оцінити гранулометричний склад твердої фази пульпи, яка осаджується у дешламаторі.

З урахуванням використовуваного підходу та сформованої інформаційної бази алгоритм управління дешламатором може бути сформульований як задача оптимізації [9]

$$\min = \int_{t_k}^{t_k+\Delta k} (W_x(\tilde{x}(t) - x_{SS})^2 + W_u(u(t) - u_{SS})^2) dt, \quad (16)$$

де рівняння стану має вигляд

$$\dot{\tilde{x}}(t) = f(\tilde{x}(t)) + g(x(t))u(t), \quad (17)$$

де \tilde{x} – прогнозоване значення x ; k – горизонт прогнозування; W_x, W_u – вага. При цьому u – функція, що мінімізує задачу оптимізації, повинна перебувати в множині кусочно-неперервних функцій [18].

Визначені параметри дозволяють підтримувати продуктивність процесу дешламації у відповідності до характеристик рудної суспензії мінімізуючи втрати корисного компонента. Завдяки отриманню оперативної інформації щодо характеристик процесу осадження часток твердої фази рудної суспензії вже на його початковій стадії вдається зменшити тривалість перехідних процесів у системі автоматичного керування.

Висновки та напрями подальших досліджень. Визначення вже на початковій стадії процесу осадження частинок подрібненої руди у дешламаторі таких показників, як динаміка зміни густини пульпи і гранулометричного складу її твердої фази дозволяє враховувати коливання параметрів технологічного потоку. Це досягається як за рахунок регулювання кількості флокулянту, так і швидкості відкачування продукту.

Система автоматичного керування на основі отриманої інформації та сучасних програмно-технічних засобів дозволяє долати повільну динаміку відгуку на керуючі впливи та перехресні впливи керованих змінних. Для досягнення оптимальних показників процесів згущення-дешламації системи керування даними процесами мають бути сформовані як модулі ієрархічної структури управління всім технологічним процесом збагачення руди.

Запропонований підхід дозволяє врахувати характер розподілу часток твердої фази рудного матеріалу у дешламаторі за крупністю, встановити характеристики вихідного продукту дешламатора. у відповідності до параметрів процесу осадження часток руди і за рахунок цього зменшити втрати корисного компонента на 0,6–0,7 %.

Список літератури

1. Segovia J. P., Concha F., Sbarbaro D. On the control of sludge level and underflow concentration in industrial thickeners. Preprints of the 18th IFAC World Congress Milano (Italy) August 28. September 2, 2011. P. 8571 -8576.
2. Arjmand R., Massinaei M., Behnamfard A. Improving flocculation and dewatering performance of iron tailings thickeners. Journal of Water Process Engineering. 2019. Vol. 31. 100873. DOI: 10.1016/j.jwpe.2019.100873.
3. Garmsiri M.R., Unesi M. Challenges and opportunities of hydrocyclone-thickener dewatering circuit: A pilot scale study. Minerals Engineering. 2018. Vol. 122. P. 206-210. DOI: 10.1016/j.mineng.2018.04.001.
4. Betancourt F., Urger R., Diehl S., Faras S. A model of clarifier-thickener control with time-dependent feed properties. Presented at Physical Separation '13, Falmouth, UK, June 20 and 21, 2013. P. 1-21.
5. Tripathy S.K., Murthy Y.R., Farrokhpay S., Filippov L.O. Design and Analysis of dewatering circuits for chromite processing plant tailing slurry. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2019. DOI: 10.1080/08827508.2019.1700983.
6. Aitomaki Y. Towards a measurement of paper pulp quality: ultrasonic spectroscopy of fibre suspensions. Lulea University of Technology Department of Computer Science and Electrical Engineering EISLAB 2006:20.
7. Control strategies for thickeners – Rhosonics. URL: <https://rhosonics.com/news/control-strategies-for-thickeners>.
8. Xu N., Wang X., Zhou J., Wang Q., Fang W., Peng X. Intelligent control strategy for thickening process. International Journal of Mineral Processing. 2015. Vol. 142, P. 56-62.

9. Zhang J., Yin X., Liu J. Economic MPC of deep cone thickeners в coal benedication, The Canadian Journal of Chemical Engineering. 2016. Vol. 94. DOI: 10.1002/cjce.22419.
10. Tan C.K., Setiawan R., Bao J., Bickert G. Studies on parameter estimation and model predictive control of paste thickeners. Journal of Process control. 2015. Vol. 28. DOI: 10.1016/j.jprocont.2015.02.002.
11. Basics in Minerals Processing, Metso Corporation, 2015. URL: <https://www.mogroup.com/insights/e-books/basics-in-minerals-processing-handbook/>
12. Teerikoski S. Optimal control of clarifier-thickeners. Uppsala University, 2017. 73 p.
13. Chai T., Li H., Wang H. An intelligent switching control для intervals of concentration and flow-rate underow slurry in mized separation thickener. 19th IFAC World Congress. Cape Town 2014.
14. Burger R., Diehl S., Faras S., Nopens I., Torfs E. A consistent modelling methodology for secondary settling tanks: a reliable numerical method. Water Science & Technology. 2013. Vol. 68(1). 23823556. DOI: 10.2166/wst.2013.239
15. Barth A., Burger R., Kroker I., Rohde C. Computational uncertainty quantification for a clarifier-thickener model with several random perturbations: A hybrid stochastic Galerkin approach. Computers & Chemical Engineering. 2016. Vol. 89. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2016.02.016.
16. Morkun V., Morkun N., Pikilnyak A. Simulation of high-energy ultrasound propagation in heterogeneous medium using k-space method. Metallurgical and Mining Industry. 2014. Vol. 6. No. 3. P. 23–27.
17. Morkun V., Morkun N. Estimation of the crushed ore particles density in the pulp flow based on the dynamic effects of high-energy ultrasound. Archives of Acoustics. 2018. Vol. 43. No. 1. P. 61–67.
18. Burger R., Diehl S., Faras S., Nopens I. On reliable and unreliable numerical methods for simulation of secondary settling tanks in wastewater treatment. Computers and Chemical Engineering. 2021. Vol. 41. P. 93-105

УДК 669.162.267.6

О.С. ВОДЕННИКОВА, канд. техн. наук, доц., Запорізький національний університет
 Л.В. ВОДЕННИКОВА, асист., Запорізький державний медичний університет
 І.Е. СКІДІН, канд. техн. наук, ст. викл. Л.Н. САЙТГАРЕЄВ, канд. техн. наук, доц.
 Криворізький національний університет
 П.В. ГОЛОВКОВ, студ., Запорізький національний університет

ПОЗАДОМЕННА ДЕСУЛЬФУРАЦІЯ ЧАВУНУ: ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТА АНАЛІТИЧНО-РОЗРАХУНКОВА ОБРОБКА ПОКАЗНИКІВ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ

Мета. Метою роботи є пошук раціональних шляхів зменшення вмісту сірки після позадоменної десульфурації чавуну для отримання низькосірчатої сталі.

Поставлена мета в роботі вирішується наступними завданнями: проаналізувати сучасні технології позадоменної десульфурації з застосуванням різних реагент-десульфураторів; визначити найбільш раціональні технології позадоменної десульфурації чавуну, які дозволяють досягти ступеня десульфурації чавуну до 80–99 % та вмісту сірки після десульфурації чавуну до 0,003 %; на основі відомих експериментальних та розрахункових даних запропонувати аналітично-розрахункову обробку показників десульфурації чавуну.

Методи досліджень. У роботі застосовувалися загальні (емпіричні, комплексні й теоретичні) та спеціальні (графічні та кореляційні) методи наукових пізнань. Так при узагальненні та аналізі науково-технічної літератури з аналізу сучасного досвіду технологій позадоменної десульфурації чавуну використовувався комплексний підхід. Аналітично-розрахункова обробка відомих експериментальних (фактичних) та розрахункових даних залежності вмісту магнію в чавуні від вмісту сірки після десульфурації чавуну проводилася кореляційно-регресійним методом в програмі Excel (з оцінкою коефіцієнту детермінації).

Наукова новизна. Показано вплив вмісту магнію в чавуні на вміст сірки після десульфурації чавуну при застосуванні в якості реагент-десульфуратора гранульованого магнію, пасивованого магнію у шматках, порошкового магнієвого дроту, суміші гранульованого магнію та флюїдизованого вапна. Здобула подальший розвиток аналітично-розрахункова обробка відомих експериментальних (фактичних) та розрахункових даних з оцінкою коефіцієнту детермінації, що показує на можливості зменшення вмісту сірки після позадоменної десульфурації чавуну до 0,003 %.

Практичне значення. Результати пошуку раціональних шляхів збільшення ступеня десульфурації чавуну для отримання низькосірчатої сталі можуть бути використані при викладанні спеціальних дисциплін для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 136 «Металургія» (наприклад, навчальної дисципліни «Фізико-хімічні процеси позаагрегатного рафінування металу»).

Результати. Проаналізовано технологічні аспекти застосування на металургійних підприємствах України та зарубіжжя сучасних технологій позадоменної десульфурації чавуну, які дозволяють досягти значень ступеня десульфурації чавуну в межах 80–99 % та вмісту сірки після десульфурації чавуну до 0,003 %.

Ключові слова: десульфурація чавуну, низькосірчата сталь, реагент-десульфуратор, ступінь десульфурації, вміст сірки.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-57-64

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Відомо, що при виплавці сталі в сталеплавильному агрегаті (кисневому конвертері або мартенівській печі) основна кількість сірки потрапляє у ванну печі у складі рідкого чавуну, який містить від 0,03 до 0,05 % сірки [1, 2]. Основні підходи до отримання металу з різним вмістом сірки полягають в наступному [3]:

сталь із вмістом сірки $\geq 0,025$ % може бути виплавлена в сталеплавильному агрегаті з використанням чавуну, що містить до 0,030–0,040 % сірки, та металевого брухту звичайної якості;

сталь із вмістом сірки 0,015–0,020 % може бути отримана в сталеплавильному агрегаті з використанням передільного чавуну, що містить 0,015–0,020 % сірки, та металевого брухту звичайної якості;

для виплавки в сталеплавильному агрегаті металу з вмістом сірки 0,010–0,015 % металева шихта повинна складатися з передільного чавуну із вмістом сірки $< 0,010$ % та низькосірчастого оборотного металевого брухту;

сталь із вмістом сірки $< 0,010$ % може бути отримана з використанням низькосірчастого передільного чавуну, оборотного металевого брухту та одного із способів позапічної десульфурації сталі.

При цьому слід зазначити, що застосування позадоменної десульфурації чавуну, використовуючи у якості реагент-десульфуратора гранульованого магнію, дає змогу зменшити вміст сірки в чавуні до меж 0,001–0,002 % [4].

Слід зазначити, що сучасна технологія десульфурації чавуну магнієм характеризується наступними ознаками [5]:

можливістю обробки чавуну в ковшах різного типу (заливальних, доменних, міксерних, ливарних та інших) місткістю 0,3–420 т чавуну, що мають вільний простір над розплавом в межах 0,25–0,5 м;

зниженням вмісту сірки в чавуні до 0,001–0,003 %;

застосуванням первинного, вторинного магнію і сплавів магнію в диспергованому вигляді (гранулах, зернах з розміром частинок 0,5–1,4 мм) без добавок, що пасивують;

застосуванням різних типів газів-носіїв (природного газу або аргону) при концентрації магнію в газі не менше 12 кг/м³;

регульованою інтенсивністю введення магнієвого реагенту в розплав із витратою газу-носія 30–40 нм³/год. (при використанні фурм з випарними камерами);

підвищенням за необхідності сульфідної місткості ковшових шлаків коригувальною добавкою (близько 200 кг/т шлаку) фракціонованого вапна (фракції 2–10 мм) або відходів його виробництва;

коригуванням складу газової атмосфери в ковші зі зниженням в ній вмісту кисню нижче 10 %;

введенням магнію в чавун на максимальну глибину фурмами з випарними камерами або без них, але із забезпеченням умов досить повного засвоєння чавуном магнію;

використанням фурм з різними типами футеровок, що забезпечують стійкість фурм у межах 60–2000 обробок (зокрема, залежно від умов експлуатації та обслуговування);

пневмоінжекційним комплексом, що забезпечує плавне і регульоване дозування реагенту з похибкою менше 0,5 % від дози, що подається, і «миттєвою» інтенсивністю вдування, що відрізняється від заданої величини лише на 2 %;

автоматизованою системою управління та контролю роботою обладнання та перебігом технологічного процесу;

ступенем засвоєння магнію чавуном до 95 %;

втратами температури чавуну ≈ 10 С/хв. обробки;

втратами чавуну з додатково утворюються шлаками навколо 0,5 кг/т.

На сьогодні при виборі раціональної технологічної схеми виробництва якісної сталі (зокрема, низькосірчастої) все більшого застосування набули технологічні комплекси «установка десульфурації чавуну – сталеплавильний агрегат» та «установка десульфурації чавуну – сталеплавильний агрегат – установка «піч-ківш»» [6, 7].

Саме тому проблема пошуку раціональних шляхів зменшення вмісту сірки після позадоменної десульфурації чавуну для отримання низькосірчастої сталі є досить актуальним напрямком досліджень в металургійному виробництві.

Аналіз досліджень і публікацій. Виконаний авторами роботи [8] аналіз існуючих техно-

логії позадоменної десульфурзації чавуну з застосуванням різних реагент-десульфураторів показав, що найбільш ефективними технологіями є (рис. 1): інжекція (вдування) суміші на основі магнію (ступінь десульфурзації 95–99 %); інжекція сумішей на основі вапна та магнію (ступінь десульфурзації 95–98 %); обробка за технологією глибинного дугового відновлення (ступінь десульфурзації 90–98 %); обробка екзотермічними брикетами (ступінь десульфурзації 65–85 %). Результати досліджень показують, що розглянуті технології пов'язані з використанням додаткового устаткування та відповідно наявності вільного місця для його встановлення, що потребує додаткових матеріальних витрат, які не завжди є економічно обґрунтованими.

Аналіз досліджень можливості використання магнієвого порошкового дроту для десульфурзації, представлених у роботах [9, 10] не дозволяє рекомендувати цю технологію до широкого використання в промислових умовах. Так результати десульфурзації чавуну порошковим дротом на 300–350-тонних заливальних ковшах киснево-конверторних цехів ВАТ «Магнітогорський металургійний комбінат» (Російська Федерація), ВАТ «Северсталь» (Російська Федерація) та ВАТ «Азовсталь» [11, 12] свідчать про досягнення ступеня десульфурзації на рівні від 33 до 71 %, що в 1,5 рази менше в порівнянні з іншими методами.

У роботі [13] в умовах ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча» розглядається процес десульфурзації чавуну з використання гранульованого магнію, що вдувається через фурму з випарної камерою, введення порошкового дроту з наповнювачем з гранульованого магнію з різними пасивуючими добавками ставролітового концентрату, порошкового феромарганцю, шлакоутворюючої суміші типу ІРС-2. Найбільш високі значення ступеня використання магнію для десульфурзації чавуну отримані при використанні в якості наповнювача порошкового дроту залізо-кремній-магнієвої лігатури. При обробці чавуну, що вміщує 0,025–0,001 % S, ступінь використання магнію для десульфурзації змінювалася від 35,8 до 53,4 %, що більше ніж в два рази у випадку використання порошкового дроту з металевим магнієм.

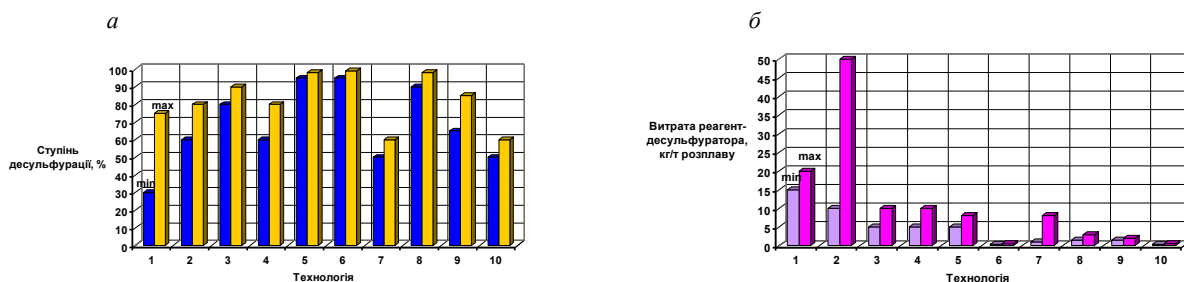


Рис. 1. Порівняльний аналіз ступеня десульфурзації (а) та витрати реагент-десульфуратора (б) при різних технологіях позапічного рафінування: 1 – обробка твердими шлаковими сумішами; 2 – обробка рідкими синтетичними шлаками; 3 – обробка содою (Na_2CO_3); 4 – обробка порошкоподібною сумішшю, що містить вапно; 5 – інжекція сумішей на основі вапна та магнію; 6 – інжекція сумішей на основі магнію; 7 – обробка магнієм в шматках; 8 – обробка за технологією глибинного дугового відновлення; 9 – обробка синтетичними брикетами; 10 – обробка порошковим дротом

Слід зазначити, що значний інтерес представляє метод десульфурзації чавуну з обробкою рідкого чавуну магнієм, відновленого з оксидів. При цьому використовуються недорогі магнетит, доломіт, феросиліцій та алюміній [14].

Не слід обходити увагою також дослідження використання екзотермічних магнійвмісних брикетів [15] з сумішей оксиду магнію з алюмінієм і оксиду заліза з алюмінієм, а також застосування в складі брикету до 10 % інертного наповнювача (металевої стружки). Використання оксиду магнію з алюмінієм збільшує ступінь десульфурзації до 53,3 %, при цьому вміст сірки після обробки досягає значень 0,014 %. Введення в склад брикету залізної стружки в якості інертної добавки при тривалості розчинення брикету на протязі 30 секунд призводить до досягнення ступеня десульфурзації значень до 70 %.

У дослідженнях [16] приведено порівняння десульфурзації чавуну продуванням гранульованим магнієм через фурми з випарними камерами в 140-ка-тонних чавуновозних ковшах ВАТ «Азовсталь» та продувкою сумішшю гранульованого магнію та порошкоподібного вапна в 350-т-тонних заливальних ковшах киснево-конвертерного цеху ВАТ «Новоліпецький металургійний комбінат» (Російська Федерація) [17].

Одним з шляхів підвищення ефективності використання магнію для позадоменної десуль-

фурації чавуну є використання вторинних магнієвих сплавів. Зокрема при заміні чистого магнію вторинним сплавом, що містить 12,2 % алюмінію, ступінь використання магнію на десульфурацію збільшується з 38,5 до 46,6 % [18].

В роботі [19] в умовах киснево-конвертерного цеху ВАТ «Алчевський металургійний комбінат» проаналізовані результати промислових досліджень ефективності використання магнію для десульфурації чавуну в 300-т тонних заливальних ковшах з використанням обладнання, виготовленого за ліцензією фірми «Polysius AG» (Німеччина). Застосування запропонованої технології дозволяє збільшити ступінь використання магнію на десульфурацію чавуну від 1,3 до 1,4 рази.

Авторами роботи [20] проаналізовано дослідження впливу на ефективність десульфурації металу змінення розчинності магнію в чавуні. При інжектуванні гранульованого магнію в чавун з використанням в якості газоносія аргону або азоту підвищення ефективності десульфуратора може бути досягнуто в результаті зниження концентрації магнію в газі, що транспортується. Встановлено, що обробка передільного чавуну сумішшю пари магнію з азотом не тільки не погіршує ефективність використання десульфуратора, але і дозволяє компенсувати окислення частини магнію киснем повітря. Дослідження, присвячені пошуку зв'язку ефективності використання магнію для десульфурації природно-легованого чавуну та концентрації кремнію у ньому (від 1,6 до 6,6 %), не дали позитивних результатів, при цьому спостерігалися лише одиничні випадки, коли вміст кремнію збільшувався до 7–9 %.

Порівняння різних технологій ківшевої десульфурації чавуну магнієм приведено в дослідженнях [21]. Авторами наведено зіставлення технології інжекції суміші на основі вапна та магнію, а також інжекції зернистого магнію без добавок. Наведено фактичні дані щодо параметрів шлакоутворення, приходу сірки в конвертер, можливостям ресульфурації, впливу вапна на параметри процесу вдування, умов скачування шлаку та забезпечення особливо глибокої десульфурації чавуну.

При десульфурації немагнієвими реагентами (зокрема, в основному оксидом кальцію (вапном)) процес вдування повинен здійснюватися з індивідуальним введенням у чавун алюмінію. У двофазний потік, що вдувається, вводиться добавка, яка на виході з фурми в розплав вибухоподібним характером випаровується та руйнує скупчення порошку, збільшуючи активну поверхню десульфурації в чавуні та тим самим розподіляючи порошок у розплаві [22].

Постановка завдання. Метою роботи є пошук раціональних шляхів зменшення вмісту сірки після позадоменної десульфурації чавуну для отримання низькосірчатої сталі.

Викладення матеріалу та результати. У роботі приведено аналітично-розрахункову обробку відомих експериментальних та розрахункових даних залежності ступеня використання магнію на десульфурації чавуну від концентрації сірки при застосуванні реагент-десульфураторів на основі магнію, зокрема, гранульованого магнію (з вмістом > 98,9 % Mg та гранулами у сферичній формі діаметром 0,5–1,6 мм); пасивованого магнію у шматках (фракції до 3 мм); порошкового магнієвого дроту; суміші гранульованого магнію та флюїдизованого вапна (з вмістом > 94 % CaO, < 0,04 % S та розміром частинок до 100 мкм).

Експериментальні (фактичні) данні вмісту сірки після десульфурації при застосуванні реагент-десульфураторів на основі магнію були взяті з досліджень роботи [23], в якій запропоновано методологію вибору найбільш раціонального процесу рафінування чавуну, що враховує як найбільш високу величину ступеня засвоєння магнію, так і вміст сірки після десульфурації ([S]) та вміст магнію в чавуні ([Mg]) після завершення процесу обробки (рафінування) чавуну у ковші.

Отримані результати дослідження по відношенню фактичних та розрахункових рівноважних значень [S] та [Mg] поділилися на три групи:

технічні процеси вдування чистого магнію (без додавання різноманітних добавок) в струмені різних інжекційних газів, для яких характерна висока ступінь засвоєння магнію (від 85 % до 97 %), практична відповідність розрахункових та практичних значень [S] та [Mg] в інтервалі вмісту сірки 0,002–0,025 % (рис. 2, крива 1);

процеси вдування порошкових магнієвмісних сумішей та варіанти технології вдування гранульованого магнію, коли забезпечується глибока десульфурація чавуну (< 0,004 % S) та фактичні значення [Mg] нижче рівноважних (рис. 3, крива 1);

технологічна схема рафінування чавуну може мати недостатньо стійкий характер, так як при визначних несприятливих умовах можливо протікання процесів ресульфурації за рахунок

приближення системи $[Mg] - [S]$ до рівноважної, що обумовлює необхідність введення визначних меж в умовах промислової реалізації цих процесів десульфурзації чавуну; перевищення фактичних значень $[Mg]$ після десульфурзації (рис. 4, крива 1 та рис. 6, крива 1) над рівноважними розрахунковими, тобто здійснення цих процесів – процеси обробки чавуну магнієвими композиціями у шматках, порошковим магнієвим дротом та порошковими магнієвими сумішами, для яких характерна невисока ступінь засвоєння магнію (22–47 %) та супроводжується необхідністю більшого насичення чавуну магнієм, більшою його питомою витратою та, відповідно, більшими матеріальними витратами.

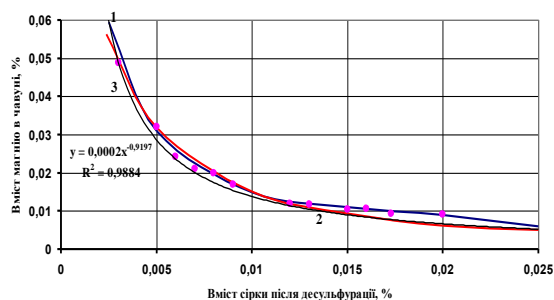


Рис. 2. Залежність вмісту магнію в чавуні від вмісту сірки після десульфурзації чавуну в 100-тонних доменних ковшах при обробці гранульованим магнієм через фурму з випарником на виході ($T_{\text{чавуну}} = 1410 \text{ }^{\circ}\text{C}$): • – експериментальні дані роботи [23]; 1 – рівноважні розрахункові дані роботи [23]; 2 – аналітично-розрахункова модель; 3 – лінія тренду кривої 2

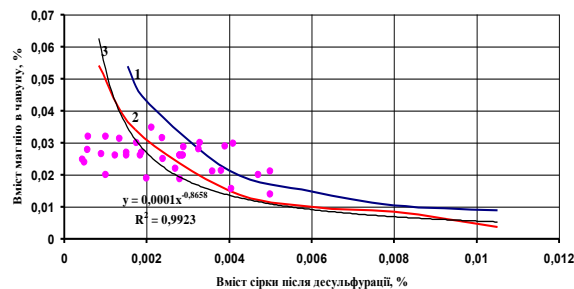


Рис. 3. Залежність вмісту магнію в чавуні від вмісту сірки після десульфурзації чавуну в 300-тонних заливальних ковшах при обробці гранульованим магнієм ($T_{\text{чавуну}} = 1350 \text{ }^{\circ}\text{C}$) (супер глибока десульфурзація чавуну): • – експериментальні дані роботи [23]; 1 – рівноважні розрахункові дані роботи [23]; 2 – аналітично-розрахункова модель; 3 – лінія тренду кривої 2

Обробку запропонованих нами аналітичних залежностей проводили кореляційно-регресійним методом в програмі Excel з оцінкою коефіцієнту детермінації R^2 за допомогою статичної регресії згідно рівняння $y = ax^b$. Величина достовірності апроксимації відображала близькість значення лінії тренду до фактичних даних.

Запропонована нами у роботі аналітично-розрахункова обробка залежності вмісту магнію в чавуні від вмісту сірки після десульфурзації в 100-тонних доменних ковшах при застосуванні в якості реагент-десульфуратора гранульованого магнію показала можливість досягнення значення вмісту сірки після десульфурзації чавуну до 0,003 % (рис. 2, крива 2), що в 1,14–1,25 рази нижче рівноважних розрахункових даних роботи [23]. Отримана аналітично-розрахункова модель описує на 98,84 % лінію статичної регресії (рис. 2, крива 3).

При обробці гранульованим магнієм чавуну в 300-тонних заливальних ковшах аналітично-розрахункова обробка показала, що вміст сірки після десульфурзації чавуну досягає значень менше 0,002 % (рис. 3), що вказує на супер глибоку десульфурзацію ($< 0,004 \text{ } \%$ S) та в 1,1–1,6 рази нижче рівноважних розрахункових даних роботи [23]. Так, наприклад, при 0,02 % Mn в чавуні значення розрахункового вмісту сірки після десульфурзації дорівнює 0,0035 % (рис. 3, крива 1), а згідно аналітично-розрахунковій моделі вміст сірки досягає 0,0045 % (рис. 3, крива 2). Отримана аналітично-розрахункова модель описує на 99,232 % лінію статичної регресії (рис. 3, крива 3).

Аналітично-розрахункова обробка залежності вмісту магнію в чавуні від вмісту сірки після десульфурзації чавуну при застосуванні в якості реагент-десульфуратора пасивованого магнію у шматках показала, що запропонована аналітично-розрахункова модель знаходиться вище рівноважних розрахункових даних роботи [23] (рис. 4, криві 1 та 2) та описує на 97,89 % лінію статичної регресії (рис. 4, крива 3).

При застосуванні обробки порошковим магнієвим дротом запропонована аналітично-розрахункова обробка залежності вмісту магнію в чавуні від вмісту сірки після десульфурзації чавуну показала на досягнення вмісту сірки в чавуні до 0,003%, що свідчить про процес супер глибокої десульфурзації чавуну. Отримана аналітично-розрахункова модель знаходиться вище рівноважних розрахункових даних роботи [23] (рис. 5, криві 1 та 2) та описує на 84,15 % лінію статичної регресії (рис. 5, крива 3).

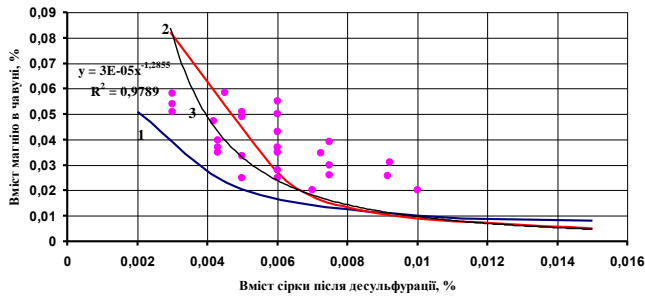


Рис. 4. Залежність вмісту магнію в чавуні від вмісту сірки після десульфурації чавуну при обробці пасивованим магнієм у шматках ($T_{\text{чавуну}}=1350^{\circ}\text{C}$): ● – експериментальні данні роботи [23]; 1 – рівноважні розрахункові данні роботи [23]; 2 – аналітично-розрахункова модель; 3 – лінія тренду кривої 2

десульфуратора сумішшю гранульованого магнію та флюїдизованого вапна показала можливість зниження вмісту сірки після десульфурації в 1,1–1,3 рази нижче рівноважних розрахункових даних роботи [23]. Так, наприклад, при 0,02 % Mn в чавуні значення розрахункового вмісту сірки після десульфурації дорівнює 0,0039 % (рис. 6, крива 1), а згідно аналітично-розрахунковій моделі вміст сірки досягає 0,0035 % (рис. 6, крива 2). Отримана аналітично-розрахункова модель описує на 97,89 % лінію статечної регресії (рис. 6, крива 3).

Таким чином, порівняльний аналіз вмісту магнію в чавуні при застосуванні різних технологій позадоменної десульфурації чавуну (рис. 2–6) показав, що найбільші значення вмісту магнію в чавуні спостерігаються при обробці пасивованим магнієм у шматках (0,05 % за рівноважними розрахунковими даними (рис. 4, крива 1) та 0,082 % згідно запропонованої аналітично-розрахункової моделі (рис. 4, крива 2)), а найменші при обробці порошковим магнієвим дротом (0,001 % за рівноважними розрахунковими даними (рис. 5, крива 1) та 0,0015 % згідно запропонованої аналітично-розрахункової моделі (рис. 5, крива 2)).

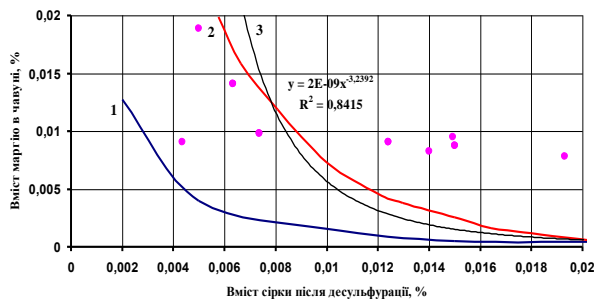


Рис. 5. Залежність вмісту магнію в чавуні від вмісту сірки після десульфурації чавуну при обробці порошковим магнієвим дротом ($T_{\text{чавуну}}=1260^{\circ}\text{C}$): ● – експериментальні данні роботи [23]; 1 – рівноважні розрахункові данні роботи [23]; 2 – аналітично-розрахункова модель; 3 – лінія тренду кривої 2

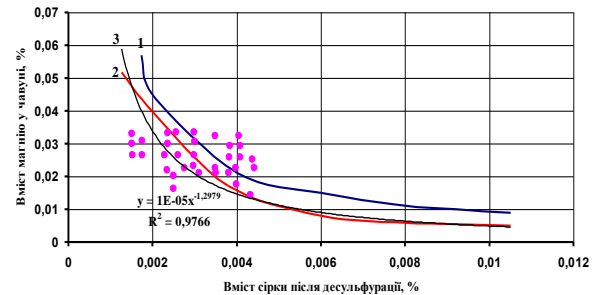


Рис. 6. Залежність вмісту магнію в чавуні від вмісту сірки після десульфурації чавуну при обробці сумішшю гранульованого магнію та флюїдизованого вапна ($T_{\text{чавуну}}=1330^{\circ}\text{C}$): ● – експериментальні данні роботи [23]; 1 – рівноважні розрахункові данні роботи [23]; 2 – аналітично-розрахункова модель; 3 – лінія тренду кривої 2

Висновки та напрямок подальших досліджень. Аналіз існуючих технологій позадоменної десульфурації чавуну з застосуванням різних реагент-десульфураторів показав, що найбільш ефективними технологіями є: інжекція суміші на основі магнію (ступінь десульфурації 95–99 %); інжекція сумішей на основі вапна та магнію (ступінь десульфурації 95–98 %); обробка за технологією глибинного дугового відновлення (ступінь десульфурації 90–98 %); обробка екзотермічними брикетами (ступінь десульфурації 65–85 %).

На основі відомих експериментальних (фактичних) та розрахункових даних запропоновано аналітично-розрахункову обробку показників десульфурації чавуну при застосуванні реагент-десульфураторів на основі магнію (гранульованого магнію, пасивованого магнію у шматках, порошкового магнієвого дроту, суміші гранульованого магнію та флюїдизованого вапна). Запропонована аналітично-розрахункова модель показала на можливість досягнення вмісту сірки після позадоменної десульфурації чавуну до 0,003%.

Подальший розвиток досліджень полягає в пошуку методів збільшення ступеня десульфурації чавуну при застосуванні в якості реагент-десульфуратора для позадоменної десульфурації натрій- та кальцієвісних матеріалів, зокрема, карбонату натрію, карбиду кальцію та ціанаміду кальцію.

Список літератури

1. **Верховлюк А. М., Нарівський А. В., Могиталенко В. Г.** Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб.; за ред. акад. НАН України В. Л. Найдека. – Київ : Видавничий дім «Вініченко», 2016. – 224 с.
2. **Чернега Д. Ф., Богушевський В. С., Готвянський Ю. Я., Грищенко С. Г., Шифрін В. М., Шурхало В. Я.** Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підруч. ; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. – Київ : Вища школа, 2006. – 503 с.
3. Основные принципы получения заданного содержания серы в стали [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://uas.su/books/metstali/63/razdel63.php>
4. Рациональная технологическая схема производства низкосернистой кислородно-конвертерной стали / **В.И. Большаков, А.С. Вергун, В.Г. Кисляков, В.П. Корченко** // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2007. – №4(10). – С. 19–22.
5. **Шевченко А. Ф.** Создание современных комплексов внепечной десульфурации чугуна гранулированным магнием / А. Ф. Шевченко, Б. В. Двоскин, Н. Т. Ткач // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. – 2004. Режим доступу до ресурсу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/21074/11-Shevchenko.pdf?sequence=1>
6. Десульфурация металла в технологическом комплексе «УДЧ–конвертер» / **А. С. Вергун, В. Г. Кисляков, В. Ф. Поляков и др.** // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии* : сб. научн. тр. – 2007. – Вып. 14. – С. 112–119.
7. Десульфурация металла в технологическом комплексе «УДЧ–конвертер–КП» / **А. С. Вергун, В. Г. Кисляков, В. Ф. Поляков и др.** // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии* : сб. научн. тр. – 2007. – Вып. 15. – С. 99–110.
8. Позапічна десульфурация рідкого чавуну в контексті завдань вітчизняної металургії / **Л. С. Молчанов, К. Г. Нізяєв, Б. М. Бойченко та ін.** // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. – 2013. – № 2. – С. 38–41.
9. Сопоставление способов десульфурации чугуна / **А. Ф. Шевченко, Б. В. Двоскин, А.С. Вергун и др.** // *Сталь*. – 2000. – №8. – С. 14–17.
10. **Дюдкин Д. А.** К вопросу рациональной технологии внепечной десульфурации чугуна / Д. А. Дюдкин, С. Е. Гринберг, С. Н. Маринцев // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2000. – №3. – С. 9–11.
11. Опыт обработки металлургических расплавов порошковыми проволоками на металлургических предприятиях СНГ / **Ю. И. Бать, Д. А. Дюдкин, В. М. Титневский, В. П. Онищук** // *Труды четвертого конгресса сталеплавильщиков (г. Москва, 7–10 октября 1996 г.)*. – М. : ОАО «Черметинформация», 1997. – С. 281–284.
12. Порошковая проволока для внепечной обработки стали и чугуна / **А. И. Каблукровский, С. И. Ябуров, А. Н. Никулин и др.** // *Труды пятого конгресса сталеплавильщиков (г. Рыбница, 14–17 октября 1998 г.)*. – М. : ОАО «Черметинформация», 1999. – С. 350–353.
13. **Климанчук В.В.** Развитие внедоменной десульфурации чугуна в ОАО «ММК им. Ильича» / В.В. Климанчук // *Вісник Приазовського державного технічного університету* : зб. наук. праць. – 2010. – Вып.17. – С. 26–34.
14. **Низяев К. Г.** Термодинамический анализ алюмотермического восстановления оксидов магния и кальция в условиях повышенного давления / К. Г. Низяев // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2002. – №7. – С. 149–153.
15. Технология обработки чугуна магниезиодержащими брикетами / **Б. М. Бойченко, К. Г. Низяев, А. Н. Стоянов и др.** // *Иновационные технологии внепечной обработки чугуна и стали* : науч.-практ. конф. – Днепропетровск : Национальная металлургическая академия Украины, 2011. – [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://uas.su/conferences/2011/vnperesnaya/7/razdel7.php>
16. **Зборщик А. М.** Эффективность современных технологий внедоменной десульфурации чугуна магнием / А. М. Зборщик, Д. В. Майданник // *Прогресивні технології у металургії сталі : XXI сторіччя : твори 3-ї міжнар. наук.-практ. конф. (м. Донецьк, 31 жовтня – 2 листопада 2006 р.)*. – Донецьк : ДонНТУ, 2007. – С. 145–149.
17. **Зборщик А.М.** Эффективность десульфурации чугуна магнием в крупных заливочных ковшах / А.М. Зборщик // *Сталь*. – 2002. – №7. – С. 157–160.
18. Внедоменная десульфурация чугуна вторичным магниевым сплавом / **В. А. Дворянинов и др.** // *Металлург*. – 1979. – №9. – С. 14–17.
19. Десульфурация чугуна в кислородно-конвертерном цехе ОАО «Алчевский металлургический комбинат» / **А. М. Зборщик, С. В. Куберский, Г. Я. Довгалюк и др.** // *Металлы и литье Украины*. – 2010. – №7. – С. 9–12.
20. **Зборщик А. М.** Пути повышения эффективности использования магния для внедоменной десульфурации чугуна / А. М. Зборщик, П. С. Харлашин, Н. В. Косолап // *Вісник Приазовського державного технічного університету*. Сер.: Технічні науки. – 2014. – Вып.8. – С. 7–17.
21. Сопоставление различных технологий ковшевой десульфурации чугуна магнием / **А. Ф. Шевченко, А. С. Вергун, А. М. Шевченко и др.** // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. – 2015. – Вып. 30. – С. 118–129.
22. Повышение обессеривающего потенциала технологических систем инъекционной десульфурации чугуна различными реагентами / **А. Ф. Шевченко, И. А. Маначин, Б. В. Двоскин и др.** // *Чёрная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. – 2019. – №75(11). – С. 1237–1243.
23. Рациональный процесс ковшевой десульфурации чугуна реагентами на основе магния / **А. Ф. Шевченко, Б. В. Двоскин, А. С. Вергун и др.** // *Специальная металлургия : вчера, сегодня, завтра* : материалы междунар.научн.-техн. Конф. (г. Киев, 8–9 октября 2002г.). – К. : Політехніка, 2002. – С. 337–343.

УДК 621.34:621.51

І. А. МАРИНИЧ, канд. техн. наук, доц., О. Ю. СЕРДЮК, канд. техн. наук, ст.викл.
Криворізький національний університет

МОДЕЛЬ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ КОМПРЕСОРНОЮ УСТАНОВКОЮ З СТАБІЛІЗАЦІЄЮ ТИСКУ У ПОВІТРЯНІЙ МАГІСТРАЛІ

Мета. Метою даної роботи є розробка математичної моделі компресорної установки, яка включає в себе основні елементи системи: компресор, електродвигун та ресивер, що забезпечує стабілізацію тиску у повітряній магістралі та зниження енергоспоживання.

Методи дослідження. У роботі використано методи теорії автоматичного керування для вибору і обґрунтування структури математичної моделі об'єкту керування, методи імітаційного і комп'ютерного моделювання, комп'ютерні інформаційні та програмні технології для підвищення якості керування об'єктом.

Наукова новизна. У роботі пропонується застосування допоміжних бібліотек MATLAB/Simulink, таких як SimPowerSystems та SimMechanics для побудови комбінованої моделі компресорної установки та створення на її основі системи візуалізації, яка дозволяє аналізувати різні режими роботи системи за допомогою зміни керуючих параметрів і графічного відображення результатів у режимі реального часу.

Практична значимість полягає у доцільності застосування пакету MATLAB/Simulink разом з бібліотекою SimPowerSystems для створення комбінованих моделей. Розроблена система керування та візуалізації дозволяє проводити моделювання різних режимів роботи системи шляхом зміни основних параметрів та одночасно візуально аналізувати отримані результати. Тому розроблена SCADA система може використовуватись при розробці та налаштуванні реальних систем.

Результати. На основі отриманих математичних моделей окремих складових, була складена загальна модель системи автоматичного керування компресорною установкою та промодельовано два режими роботи при прямому та плавному керуванні електродвигуном. Результати моделювання дозволили підтвердити припущення, що поступово збільшення тиску повітря після компресора відповідно до зростання тиску повітря у ресивері, то компресор не буде весь час працювати на максимальних обертах, а отже і не буде працювати на максимальній потужності і не буде витрачати зайву енергію. Тому можна зробити висновок що плавне управління оборотами електродвигуна можна застосовувати для зниження витрати електроенергії, що витрачається двигуном компресора, при цьому час досягнення потрібного рівня тиску в ресивері практично не змінюється.

Ключові слова: візуалізація, компресор, моделювання, ресивер, стабілізація, система керування, scada

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-64-70

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Використання стисненого повітря у якості енергоносія зумовлено відносною дешевизною його вироблення і транспортування до місця призначення. Проте його виробництво не є настільки дешевим, як це може здатися, так як приблизно 5-15% електроенергії, що споживається під час вироблення стисненого повітря, витрачається на здійснення корисної механічної роботи[1]. Велика частина – 85% – це тепло, що виділяється компресором під час роботи. Це зумовлено зокрема тим, що методи керування виробництвом стисненого повітря і зберігання не завжди є раціональними, що призводить до зайвих витрат електроенергії.

Основні задачі автоматизація компресорів – забезпечення їх роботи з оптимальними техніко-економічними показниками та високою продуктивністю. При автоматизації процесу отримання стисненого повітря необхідно враховувати особливості конструкції, умови роботи і характеристики машин, які беруть участь у цьому процесі, як об'єкт автоматизації.

Аналіз досліджень і публікацій. Сучасні компресори працюють з ефективністю, близькою до фізичної межі, і діапазон ефективності зазвичай становить не більше 10%. Це означає, що можливо різко знизити споживання електроенергії компресором, якщо розглядати не ідеальний компресор, що працює на 100% завантаження, а реальний компресор із завантаженням 20-80%. Основні резерви економії приховані в управлінні продуктивністю компресора. Крива графіка витрати стисненого повітря більшості виробничих установок коливається в залежності від часу доби, днів тижня або періодів економічного циклу[1]. Звичайні компресори не можуть точно відслідковувати коливання потреби в стисненому повітрі. Розроблено компресори із змінною швидкістю приводу, продуктивність яких може точно збігатися з витратою стиснутого повітря. Такі компресори здатні точно відслідковувати коливання витрати, змінюючи швидкість обертання приводного електродвигуна. Це головна особливість таких компресорів. Вони зменшують до мінімуму споживання енергії за рахунок того, що повністю припиняють споживати еле-

ктроенергію під час розвантаження. Це економить до 35% електроенергії, що означає економію до 22% всіх витрат за термін служби компресора. Не всі виробники використовують з частотними перетворювачами двигуни, спроектовані таким чином, щоб забезпечувати максимальну ефективність і надійність при використанні в широкому діапазоні (20-100%) завантаження компресора. Це важливо, тому що використання стандартних двигунів змінного струму обмежує робочі можливості компресора [2].

У роботі [3] проводиться дослідження в напрямку створення оптимальної системи керування роботою багатоцехових компресорних станцій з різними типами приводів газоперекачувальних агрегатів (ГПА). Наведено теоретичне узагальнення наукової задачі, яка включає розробку нового методу оптимального керування роботою багатоцехових компресорних станцій з різними типами приводів ГПА і на цій основі синтезовано систему керування, програмне забезпечення якої реалізує розроблені алгоритми. Проведений аналіз відомих методів оптимізації роботи газотранспортних мереж показав, що переважна більшість робіт присвячена вибору оптимальних режимів роботи трубопроводів і практично не розглядались питання оптимального керування роботою багатоцехових компресорних станцій з різними типами приводів ГПА, виходячи із їх поточного стану.

У роботі [4] розглядається спосіб підвищення ефективності вироблення стисненого повітря за допомогою його очищення при всмоктуванні, та уже стисненого. Фазові переходи в повітрі і його перетворення в багатозфазну суміш є причинами різкого зниження загальної ефективності пневматичних систем, що виражається в збільшенні гідравлічного опору повітропроводних мереж, зниження тиску і витрати повітря для пневматичних систем і утворення твердих фаз, які здобувають роль шкідливих домішок. Також важливість очищення стисненого повітря полягає у тому, що забруднене повітря знижує довговічність пневмоприладів у 4-8 разів, а вихід з ладу через дану проблему складає до 85% від загального числа відмов. Для очищення повітря на вході в компресор поряд з такими параметрами, як тонкість очищення, робочий тиск, стабільність роботи, гідравлічний опір і ресурс роботи фільтроелементів, необхідно враховувати тип компресора. Результатами роботи є розроблена математичка модель компресорної станції з урахуванням зміни параметрів стисненого повітря під дією різних факторів, виконано підбір фільтрувальних елементів для повітря, що всмоктується, та стисненого повітря, що вже знаходиться у системі.

У роботі [5] розглядаються способи підвищення енергоефективності компресорних установок за рахунок оптимізації споживання. До питань, які порушуються у роботі, належать розрахунок термодинамічних процесів у компресорі, які залежать від положення його клапанів, розрахунок елементів пар тертя циліндро-поршневої групи компресора для переведення його на безмастильний режим, використання частотного керування електродвигуном для регулювання продуктивності компресора. Розглядається система змащування компресорних установок, яка є важливою для експлуатації компресорів, так як змащування зменшує зношування рухомих частин і знижує втрати на тертя, підвищує герметичність і охолоджує поверхні тертя. Для вирішення проблеми безпечної економічної експлуатації поршневих компресорів пропонується проводити переведення цих компресорів на роботу без змащення циліндрів і сальників. З розрахунків, наведених у роботі, випливає висновок, що є необхідність стабілізації тиску у мережі повітропостачання в межах його мінімального рівня з метою підвищення енергоефективності компресорної установки шляхом зниження витрати та вироблення стисненого повітря.

Виходячи з результатів приведених вище робіт, робиться висновок, що автоматизація процесів керування та моніторингу стану компресорних установок та мережі повітропостачання призводить до підвищення показників енергоефективності роботи установок з виробництва стисненого повітря, зокрема здатність стабільного підтримання тиску у мережі, також знижується енергоспоживання компресорних установок.

Постановка задачі. Завданням цієї роботи є розробка моделі системи керування компресорною установкою з метою досягнення економії енергії та стабілізації тиску у повітряній магістралі. Виконання цієї задачі потребує дослідження поведінки системи при керуванні стандартними методами, та з використанням засобів автоматизації, визначенням їх переваг перед стандартними методами. Для дослідження поведінки системи та її елементів необхідно створити математичну модель, яка поєднує у собі основні елементи, такі як компресор, асинхронний двигун, ресивер.

Викладення матеріалу і результатів. Переваги автоматизації у раціональному використанні можливостей компресорів та контроль за багатьма важливими параметрами, які впливають на якість повітря, яке стискається. Так витрати на виробництво стисненого повітря можна скоротити приблизно на 20% без втрат у продуктивності.

Підтримання необхідного тиску у мережі забезпечується роботою компресора в необхідних діапазонах, підтриманням необхідного тиску у ресивері для компенсації навантаження на пневматичну мережу та витоків повітря через її пошкодження [2, 6, 7].

Продуктивність компресора залежить від його обертів. Вал електродвигуна напряму з'єднаний з валом компресора, тому необхідно забезпечити керування обертами електродвигуна. Найбільш ефективний спосіб керування асинхронним електродвигуном є зміна частоти напруги живлення. З цією метою буде використовуватися частотний регулятор, для якого необхідно створити оптимальний алгоритм керування. Функціональна схема автоматизації розробляється на основі усієї системи повітропостачання, схема якої наведена на рис. 1. Схема компресорної установки складається із забірної фільтри, компресора з електромотором, охолоджувача, фільтра вологовіддільника, ресивера, манометра, кранів пневмоліній, що йдуть до споживачів.

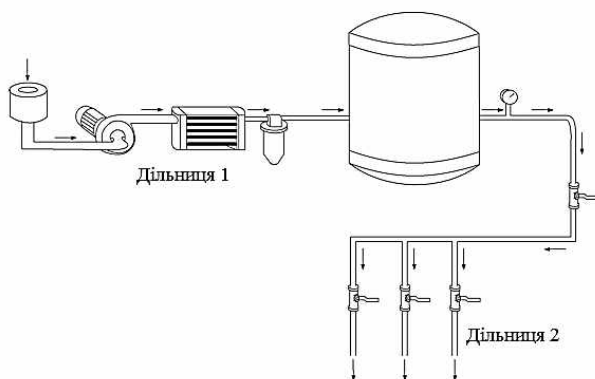


Рис. 1. Схема системи повітропостачання

Дільниця 1 відповідає за підготовку стисненого повітря. Для контролю за параметрами окремих стадій підготовки повітря встановлюються датчики тиску на вході та виході компресора. Важливим параметром стисненого повітря є його температура – чим менше температура, тим більший об'єм повітря закачається у ресивер. Тиск у ресивері вимірюється за допомогою датчика тиску, розташованого на вихідному патрубку. Керування асинхронним електродвигуном компресора здійснюється за допомогою частотного перетворювача, управління яким здійснюється із ПЛК керування компресорною установкою.

ресорною установкою.

Дільниця 2 являє собою мережу споживачів, які під'єднані до повітряного трубопроводу. Данні з цієї дільниці потрібні для аналізу витрат стисненого повітря і створення оптимального алгоритму керування для компресора з метою покращення показників підтримання тиску у мережі та енергозатрат на його виробництво. Для отримання даних з другої дільниці потрібні лише датчики тиску, встановлені безпосередньо перед споживачами, які є пневмоінструментом або обладнанням з пневматичним приводом. Обробка і збір даних здійснюється місцевими ПЛК.

Математична модель компресорної станції складається з передавальних функцій таких основних елементів компресорної станції як: електродвигун, компресор, трубопровід, ресивер зі стисненим повітрям.

Модель асинхронного двигуна з частотним керуванням (рис.2) створена за відомими залежностями з використанням бібліотеки *SimPowerSystems* [8, 9], а сам компресор можна представити аперіодичною ланкою з постійною часу $T_{компр.}$, що визначається з його індивідуальних характеристик.

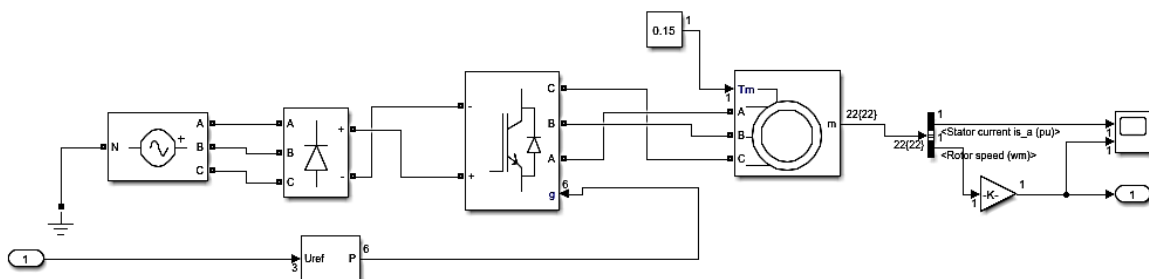


Рис. 2. Модель асинхронного двигуна з частотним керуванням

Передавальна функція ресивера отримується з наступного рівняння

$$T \frac{d\phi}{dt} + \phi = k_{0,1}\lambda - k_{0,2}\lambda_1 + k_{0,3}P_1 - k_{0,4}P_2; \tag{1}$$

$$T = \frac{V\gamma_0}{k_{ad}P_0F_\delta}, c; k_{0,1} = \frac{\partial Q_{np}}{\partial X_1} x_{1,0}; k_{0,2} = \frac{\partial Q_{vid}}{\partial X_2} x_{2,0}; k_{0,3} = \frac{\partial Q_{np}}{\partial p_1} P_{1,0}; k_{0,4} = \frac{\partial Q_{vid}}{\partial p_2} P_{1,0}.$$

де γ_0 – питома вага газу, кг/м³; V – об’єм, м³; Q_{np}, Q_{vid} – витрати газу на притоці та відтоці, м³/с; k_{ad} – показник адиабати; P_0 – тиск у ресивері; X_1, X_2 – положення регулюючих органів; F_δ – поперечний переріз магістралі, мм².

Якщо рахувати що тиски p_1 та p_2 незмінні разом з положенням регулюючого органу X_2 , то рівняння (1) матиме вигляд

$$T \frac{d\phi}{dt} + \phi = k_{0,1}\lambda. \tag{2}$$

Модель асинхронного електродвигуна [8] (рис.2) та ресивера [10] (рис.3) для зручності розміщують у підсистемі з відповідними назвами. Загальний вигляд створеної моделі системи наведено на рис. 4.

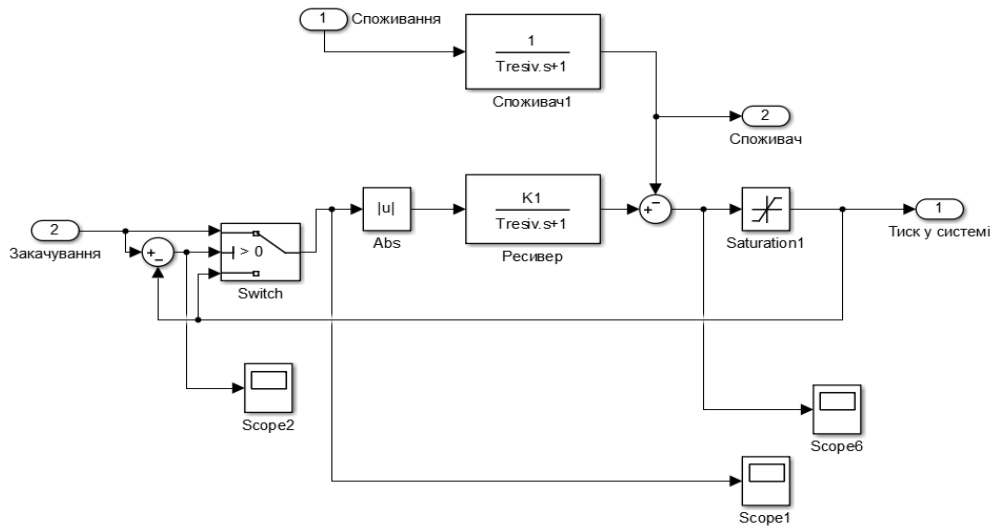


Рис. 3. Модель ресивера

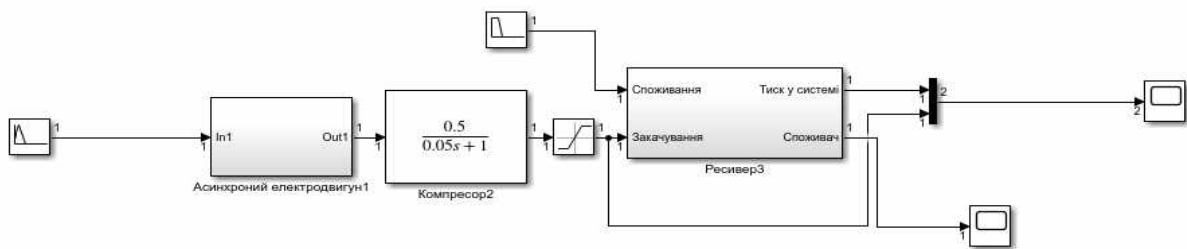


Рис. 4. Загальний вигляд моделі компресорної установки

Спочатку промодельюємо роботу системи при прямому включенні електродвигуна до джерела живлення з завданням максимальної частоти живлячої напруги. На рис. 4 наведено графік перехідного процесу системи. Тиск, що створює компресор, майже відразу, приблизно за 5 секунд, досягає свого максимального значення у 23 атм. Проте у ресивері він зростає повільніше, приблизно за 220 секунд. Значення тиску практично лінійно залежить від обертів валу компресора. Отже компресор працює на максимальній потужності весь час, необхідний для заповнення ресивера. Якщо поступово збільшувати тиск повітря після компресора відповідно до зростання тиску повітря у ресивері, то компресор не буде весь час працювати на максимальних обертах, а отже і не буде працювати на максимальній потужності і не буде витрачати зайву енергію. Для того, щоб перевірити ефективність даного припущення на вхід системи подається частота напруги двигуна, що плавно зростає. Як видно з отриманих графіків на рис. 5 швидкість зростання тиску

ку у ресивері практично не змінилась. Частота живлячої напруги електродвигуна компресора ступінчасто зростала протягом 50 секунд, проте це не завадило тиску у ресивері досягти максимального значення практично за ті ж 220 секунд, що і при минулому експерименті.

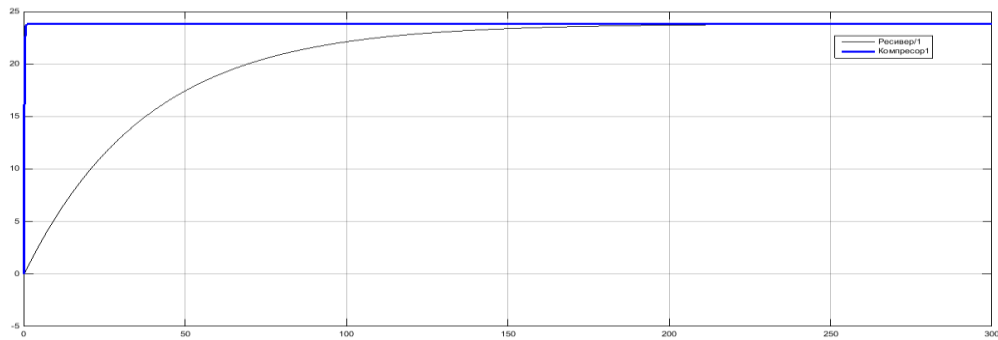


Рис. 5. Графіки зміни тиску при прямому керуванні

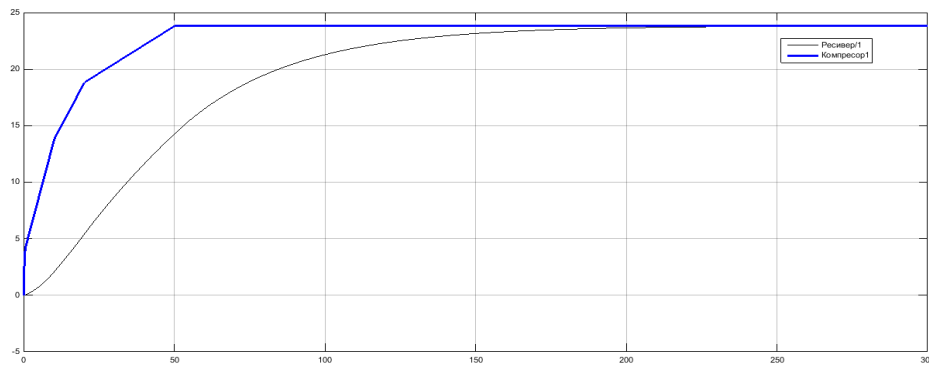


Рис. 6. Графіки зміни тиску при плавному керуванні

Можна зробити висновок що плавне управління оборотами електродвигуна можна застосовувати для зниження витрати електроенергії, що витрачається двигуном компресора, при цьому час досягнення потрібного рівня тиску в ресивері практично не змінюється. На рис. 7 наведено графіки порівняння роботи систем з двома різними способами керування.

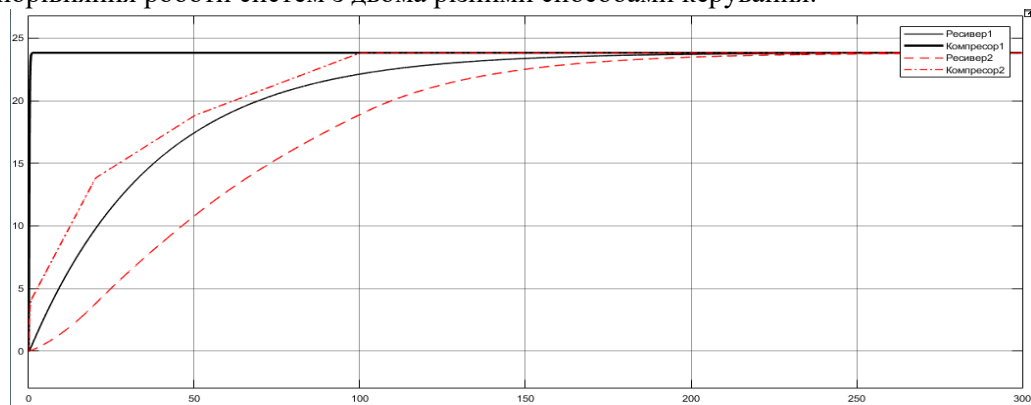


Рис. 7. Графіки двох експериментів із застосуванням прямого і плавного керування електродвигуном компресора

Як видно з графіків у діапазоні в 100 секунд електродвигун працює не на повну потужність, а отже витрачає менше електроенергії.

Для підтвердження результатів моделювання та демонстрації роботи системи, була створена SCADA/HMI-система візуалізації технологічного процесу виробництва стисненого повітря [11] у середовищі Trace Mode IDE 6, яка відповідає функціональній схемі наведеній на рис.1. На рис. 8 зображено робочий екран середовища, на якому розміщено графіки обертів двигуна (об/хв), споживаної потужності електродвигуна (кВт), тиск у ресивері (атм). Також на екрані розташовані стрілочні прилади для відображення обертів валу компресора, тиску повітря у ресивері, до нього, та у системі.

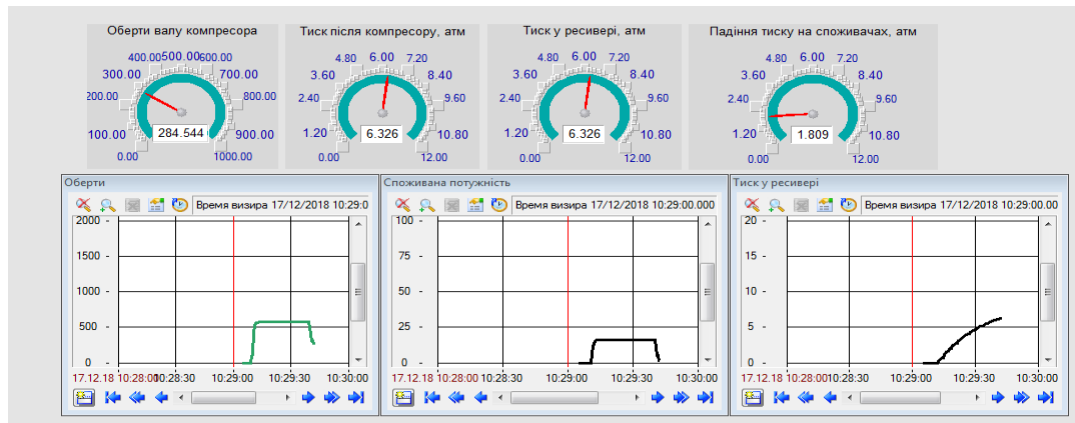


Рис. 8. Перевірка роботи візуалізації програми

Окрім індикаторів на робочому екрані зображено мнемосхему компресорної установки (рис. 9) з відображенням на ній основних параметрів, що зчитуються.

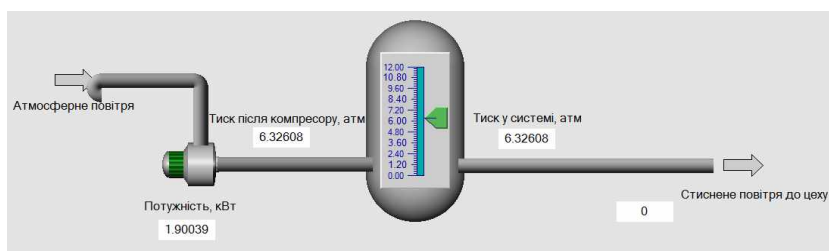


Рис. 9. Мнемосхема компресорної установки

Висновки і напрямок подальших досліджень. На основі розглянутих рівнянь та передавальних функцій таких об'єктів як асинхронний електродвигун, компресор та ресивер були створені математичні моделі, на основі яких була складена загальна модель системи автоматичного керування компресорною установкою та перевірено її роботу при різних вхідних впливах, а саме при прямому та плавному керуванні електродвигуном. Встановлено, що плавне керування роботою електродвигуна знижує його споживання електроенергії завдяки зменшенню часу його роботи на повну потужність. Розроблена система керування та візуалізації дозволяє проводити моделювання різних режимів роботи системи шляхом зміни основних параметрів та одночасно візуально аналізувати отримані результати. Тому розроблена SCADA система може використовуватись при розробці та налаштуванні реальних систем.

Тому розроблена SCADA система може використовуватись при розробці та налаштуванні реальних систем.

Список літератури

1. Бондаренко Г. А., Кирик Г. В. Компресорні станції: підручник, Суми, СумДУ, 2016. – 385 с.
2. Бондаренко Г. А., Жарков П. Е. Винтовые компрессоры в системах обеспечения сжатым воздухом. Сумы : Изд-во СумГУ, 2003. – 134 с.
3. Ковалів С. О. Оптиміальне керування роботою багатоцехових компресорних станцій з різними типами приводів: дис. канд. техн. наук по спец. 05.13.07, Івано-Франківськ, Івано-Франківський НТУ нафти і газу, 2005. – 137 с.
4. Молодцов В. В. Обоснование и обеспечение энергосберегающих параметров и режимов работы рудничных компрессорных установок.: дис. канд. техн. наук по спец. 05.05.06, Екатеринбург, Уральский гос. гор. ун-т., 2008.- 140 с.
5. Рутковский Ю. А., Рутковский А. Ю. Пневмоэнергетические системы промышленных предприятий: учеб. пособие. Алчевск, Изд-во ДонГТУ, 2008. – 517 с.
6. Воронцов А. В. Современные центробежные компрессоры, М.: Изд-во «Премиум Инжиниринг», 2007. – 140 с.
7. Нейдорф Р.А., Соловей Н. С. Теория автоматического управления в технологических системах: учебное пособие. Ухта: Институт управления, информации и бизнеса, 2005. –212 с.
8. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс, 2008. – 288 с.
9. Рушкин Е. И., Семёнов А. С. Анализ энергоэффективности системы электропривода центробежного насоса при помощи моделирования в программе MatLab // Современные наукоемкие технологии. М., 2013, № 8. – С. 341-342.
10. Изучение и составление математической модели ресивера воздуха [Электронный ресурс]:Режим доступа: <https://vunivere.ru/work13354?screenshots=1>
11. Обоснование и обеспечение энергосберегающих параметров и режимов работы рудничных компрессорных установок воздуха [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://tekhnosfera.com/obosnovanie-i-obespechenie-energoberegayuschih-parametrov-i-rezhimov-raboty-rudnichnyh-kompressornyh-ustanovok>

І.І. МАКСИМОВ, Т.М. КОВАЛЬЧУК, кандидати техн. наук, доценти,
В.А. КОВАЛЬЧУК, д-р техн. наук, проф., Криворізький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ЗДОБУВАЧІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ГІРНИЦТВО» ЧЕРЕЗ СИСТЕМУ ПРОФЕСІЙНО-ОРІЄНТОВАНИХ МАТЕМАТИЧНИХ ЗАДАЧ

Мета. Нагальною проблемою підготовки сучасних здобувачів вищої освіти є слабкий зв'язок логіки засвоєння дисциплін загальної підготовки, зокрема вищої математики, з вимогами до засвоєння дисциплін професійної підготовки спеціальності «Гірництво». Виходячи з вищевикладеного, в статті поставлено мету щодо поєднання абстрактних математичних методів і професійно-орієнтованих задач для підвищення якості підготовки та формування спеціальних компетентностей здобувачів вищої освіти.

Методи. В статті використано загально-логічні та загальнонаукові методи досліджень. Зокрема, при побудові та аналізі графічних моделей застосовано методи формалізації, аналогії та верифікації абстрактних моделей кар'єра і конкретних результатів його функціонування. Методи моделювання, оптимізації та емпіричного дослідження використано при встановленні взаємозв'язків технологічних показників і параметрів роботи кар'єрів та знаходженні їх екстремальних значень. Окрім цього, при опрацюванні науково-методичної літератури використано методи аналізу і узагальнення.

Наукова новизна полягає в удосконаленні пропедевтичних методів підготовки здобувачів спеціальності «Гірництво», їх наступності з теоретичними засадами формування системного уявлення та світогляду при вирішенні наукових і виробничих завдань.

Практична значимість досліджень, що викладені в статті, полягає у створенні системи професійно-орієнтованих задач з курсу вищої математики, розв'язок яких змістовно поєднано із завданнями професійної підготовки гірників. Запропонована методика такого пропедевтичного підходу дає можливість більш усвідомлено підходити до вирішення формально-логічних задач з вищої математики і на виході забезпечує ефективні важелі і мотивацію для виконання кваліфікаційних робіт і фахового зростання.

Результати. Результати досліджень та практичні рекомендації формують у здобувачів цілісне уявлення про взаємозв'язок дисциплін циклу загальної і професійної підготовки, що суттєво впливає на якісне формування спеціальних компетентностей і не обмежується розглянутим розділом вищої математики і має перспективи поширення.

Ключові слова: гірництво, математична підготовка, система професійно-орієнтованих задач, вимоги, методика.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-70-76

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Останнім часом сучасна вища освіта функціонує в умовах постійних трансформацій і стикається з рядом проблем, пов'язаних із скороченням годин на викладання дисциплін загальної підготовки, послабленням міждисциплінарних зв'язків, зниженням середнього рівня підготовки абітурієнтів та комерціалізацією вищої освіти тощо.

Зважаючи на вимоги стандартів вищої освіти та освітньо-професійних програм щодо технічних спеціальностей в цілому, і гірничої зокрема, в яких компетентностями передбачено формування у здобувачів знань і вмінь з вирішення складних фахових завдань, необхідно спрямовувати їх математичну підготовку на вирішення задач прикладного та інноваційного характеру. Для спеціальності «Гірництво» та її спеціалізацій суттєвим є системне пропедевтичне навчально-математичне поєднання вивчення вищої математики з вимогами до засвоєння освітніх компонент циклу професійної підготовки, що потребує їх глибокого осмислення та засвоєння, і підтверджує актуальність зазначеної проблеми.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблеми вищої освіти жваво обговорюються і є цікавими для суспільства. Так П. Шульте [1, с. 187] наголошує, що головною функцією університету є «підготовка студентів до підприємницької активності та самозайнятості». Т. Безусова [2, с. 137] вважає, що до навчальних закладів на перший план висувуються вимоги підготовки системних інтелектуальних, рефлексивних, творчих, моральних особистостей, що можуть ефективно організувати діяльність у соціальному, економічному та культурному сенсі. Освітня [3, с. 72] виступають за посилення співпраці між підприємствами (бізнесом) і навчальними закладами, що «забезпечить практичну спрямованість навчального процесу, підвищить якість підготовки майбутніх фахівців відповідно до очікувань роботодавців». Г. Васьківська [4, с. 46] піднімає питання фундаменталізації змісту освіти, яка «покликана забезпечити позитивні зрушення у сфері опанування основ навчальної професійної і соціальної діяльності». Фахівці В.П. Мурашківська та С.П. Казнадій [5, с. 121] зазначають, що при підготовці інженерів-механіків «студенту необ-

хідно мати математичні знання для вирішення практичних завдань, вміти застосовувати математичні методи для моделювання виробничих, технологічних процесів в подальшій професійній діяльності».

Постановка завдання. Освітня підготовка фахівців спеціальності «Гірництво» висуває певні вимоги до методики їх математичної підготовки. Одним з напрямків реалізації зазначеної мети є створення системи професійно-орієнтованих задач, що дозволяє більш якісно сформулювати їх спеціальні компетентності для подальшої фахової діяльності.

Викладання матеріалу та результати. У Криворізькому національному університеті, який знаходиться у найбільшому в Україні гірничо-видобувному промисловому регіоні і практично забезпечує стовідсоткову потребу в інженерах гірничих спеціальностей, значна увага приділяється питанням якісної підготовки здобувачів. Традиційно затребуваною є спеціальність «Гірництво», здобувачі якої протягом першого року навчання повинні одержати базові знання з вищої математики. Одним із завдань вивчення курсу є, з одного боку, одержання таких знань, а з іншого, – формування усвідомленого ставлення до можливості їх застосування у майбутній професійній та науково-дослідницькій діяльності. Тому було поставлено мету створення системи задач за кожною темою вищої математики, які б розкривали можливості застосування математики у гірничій справі з акцентом на відповідні дослідження професорсько-викладацького складу навчального закладу. Це дозволить підвищити інтерес здобувачів до навчання і ознайомитися з фаховими публікаціями провідних викладачів Криворізького національного університету (КНУ).

Пропонуємо, як приклад, розглянути систему професійно-орієнтованих задач за розділом вищої математики «Функції багатьох змінних» за основними темами цього розділу.

1. *Функції багатьох змінних.* Наочним прикладом функції двох змінних є рельєф місцевості, де висота в кожній його точці залежить від координат x та y . Спостереження за зміною рельєфу вказують на різний характер зміни його висоти в різних напрямках (зростання, спадання, максимальне або мінімальне значення). Як і для функції однієї змінної $y = f(x)$, для дослідження функції багатьох змінних використовується похідна, яка вона визначає швидкість зростання ($z' > 0$) або спадання ($z' < 0$) значень функції (швидкість зміни висоти рельєфу).

2. *Гradient функції.* Зважаючи на те, що gradient – це вектор, який показує напрямок найбільшого зростання функції, його використовують для пошуку екстремальних значень функції (максимальних або мінімальних). Відповідний метод називається gradientним і може використовуватися, зокрема, при графічному розв'язанні задач лінійного програмування.

Оригінальне застосування gradientного методу в гірничій справі запропоновано професором КНУ В.Завсєгдашнім [6]. Ним було встановлено, що за gradientом $grad(\alpha)$ функції $\alpha = \alpha(x; y)$, яка визначає вміст заліза в руді, можна знайти місце найбільшої концентрації заліза в межах кар'єра. Припустимо, що кар'єр може працювати упродовж п'яти років за різними варіантами за умови, що загальний прибуток гірничого підприємства за цей період буде однаковий. Якщо, в першу чергу, буде відпрацьовуватися більш багата руда (її місце розташування визначається за допомогою gradientа), то на перших етапах буде одержуватися прибуток вище середнього, а додаткові кошти можна вкласти в розвиток підприємства. Якщо функція якості $\alpha = \alpha(x; y; z)$ – це функція трьох змінних, то gradient визначає напрямок найбільшого зростання вмісту заліза у кар'єрі і можна визначити місце його найбільшої концентрації.

3. *Диференціал функції.* За допомогою диференціалу знаходять головну (основну) частину приросту функції. Чим менше приріст аргументів Δx і Δy , тим менша різниця між приростом функції та диференціалом. Тобто, за допомогою диференціала можна наближено знайти різницю значень Δz функції між двома сусідніми точками. Якщо необхідно знайти значення функції в незручній для обчислення точці N , а поряд є зручна для обчислення точка M , то знаходять значення функції в зручній точці, а різницю значень функції між сусідніми точками визначають наближено за допомогою диференціалу (його значення в зручній точці M).

Цей принцип в своїх дослідженнях використав професор В. Бизов [7]. Кар'єрами видобувається залізна руда з невеликим вмістом заліза ($\alpha = 25 \div 45\%$). Руду подрібнюють (60% складає фракція $0,07 \div 0,08$ мм) та за допомогою подальшого її збагачення одержують

концентрат з умістом заліза ($\beta = 62 \div 64\%$), а частину заліза втрачають у відходах ($\nu = 12 \div 18\%$). Використовуючи загальний баланс заліза в руді, концентраті та відходах, одержують формулу для оцінки виходу заліза в концентрат, який є показником якості збагачення, частка одиниці

$$\gamma = (\alpha - \nu) / (\beta - \nu).$$

Якість руди, яка надходить на збагачувальну фабрику, змінюється, що призводить до втрат заліза і збільшення його вмісту у відходах. При цьому вихід концентрату зменшується. Для всіх залізородних комбінатів Кривбасу емпірично встановлено залежність між вмістом заліза у відходах та коливаннями його якості σ (методом найменших квадратів) $\nu = k\sigma + b$. Для різних комбінатів параметри k і b відрізняються, що обумовлено різним складом руди. Зважаючи на це, можна одержати функцію двох змінних, яка встановлює залежність виходу концентрату від якості заліза (α) та його середньоквадратичного відхилення від середнього значення

$$\gamma = \frac{\alpha - k\sigma - b}{\beta - k\sigma - b}; \quad \frac{\partial \gamma}{\partial \alpha} > 0; \quad \frac{\partial \gamma}{\partial \sigma} < 0.$$

Застосовуючи повний диференціал, автор показав, що основний вплив на зменшення виходу концентрату здійснюють коливання якості руди (σ). Різні усереднювальні системи дозволяють зменшити коливання якості руди (σ), збільшити вихід концентрату ($\Delta\gamma \approx d\gamma$) та одержати додатковий прибуток. Таким чином, застосування диференціалу дозволило оцінити приріст виходу концентрату та знайти оптимальні параметри усереднювальних систем, які дозволять забезпечити максимальний прибуток комбінату в цілому.

Розглянемо задачу, де застосування диференціалу дозволяє спростити визначення показників роботи кар'єра. При експлуатації кар'єра доводиться вилучати значну кількість розкривних порід, які необхідно розпушувати вибуховим способом, виймати та транспортувати на поверхню кар'єра та складувати їх у відвалах. Щоб добути 1 м^3 руди, необхідно вилучити декілька куб. м розкривних порід, що значно збільшує собівартість видобутку та знижує ефективність експлуатації кар'єра. Одним з показників експлуатації кар'єра є коефіцієнт розкриття, який характеризується відношенням об'єму розкривних порід V_n до об'єму руди P_n

$$K_p = V_n / V_p.$$

Зазначені показники змодельюємо на поперечному розрізі кар'єра (рис. 1).

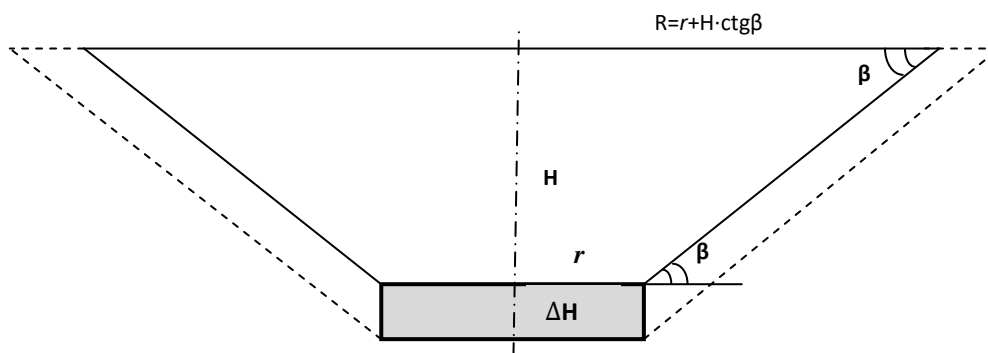


Рис 1. Поперечний розріз кар'єра: r – радіус дна кар'єра; R – радіус поверхні кар'єра; H – глибина кар'єра; β – кут нахилу борту кар'єра

Із збільшенням глибини кар'єра коефіцієнт розкриття також збільшується, що приводить до відповідного зростання собівартості руди. За граничним значенням коефіцієнта розкриття (собівартістю видобутку руди) визначають граничну глибину кар'єра.

Об'єм кар'єра знаходиться як об'єм зрізаного конуса

$$V = \pi \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot H^3 \cdot \text{ctg}^2 \beta + H^2 \cdot r \cdot \text{ctg} \beta + r^2 \cdot H \right).$$

З часом глибина кар'єра збільшується на величину ΔH , а відповідне збільшення об'єму кар'єра визначається наближено за допомогою диференціалу з рівності

$$dV = \pi(H^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 \beta + 2H \cdot r \cdot \operatorname{ctg} \beta + r^2) \cdot \Delta H.$$

Частина знайденого приросту об'єму відповідає об'єму видобутої руди (знаходиться як об'єм циліндра радіуса r та висотою ΔH)

$$V_p = \pi \cdot r^2 \cdot \Delta H.$$

Об'єм розкривних порід знаходять як різницю приросту об'єму кар'єра та об'єму вилученої руди.

Остаточо знаходять коефіцієнт розкриву за формулою

$$V_n = \Delta V - V_p \approx dV - V_p;$$

$$V_n = \pi \cdot (H^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 \beta + 2H \cdot r \cdot \operatorname{ctg} \beta);$$

$$K_p = \frac{1}{r^2} \cdot (H^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 \beta + 2H \cdot r \cdot \operatorname{ctg} \beta).$$

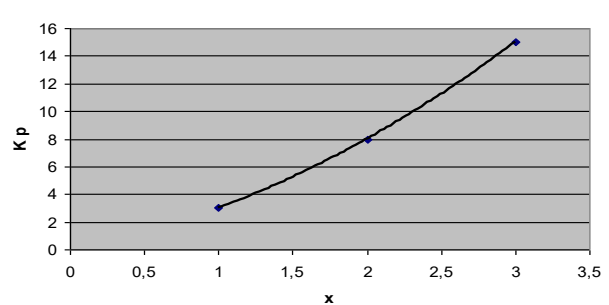
З одержаної формули видно, що коефіцієнт розкриву значно збільшується зі збільшенням глибини кар'єра (містить доданок, пропорційний квадрату глибини). З іншого боку, кар'єри великого розміру мають значно менший коефіцієнт розкриву.

Для спрощення введемо допоміжну змінну, яка показує відношення глибини кар'єра H до радіусу його дна r , тобто $x = H/r$. Тоді маємо

$$K_p = x^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 \beta + 2x \cdot \operatorname{ctg} \beta.$$

Сучасні кар'єри Кривбасу досягли глибини 400 м. При горизонтальній потужності залізородних покладів 100÷400м, значення $r = 50 \div 200$ м та $x = 2 \div 8$. При таких умовах коефіцієнт розкриву та собівартість руди значно зростають. Встановлений за допомогою диференціалу функції аналітичний зв'язок між коефіцієнтом розкриву і основними параметрами кар'єра (при $\beta = 45^\circ$, $\operatorname{ctg} \beta = 1$) графічно представлено на рис. 2.

Рис. 2. Графік залежності коефіцієнта розкриву від параметрів кар'єра



За наявності технологічних важелів щодо зменшення значення коефіцієнта розкриву, а саме використання тимчасового внутрішнькар'єрного відвалоутворення та регулювання кутами нахилу бортів, задачу застосування диференціалу функції можна розв'язати більш точно з урахуванням інноваційних проектно-технологічних рішень.

Наприклад, при збільшенні кута нахилу β з 28° до 45° , значення $\operatorname{ctg} \beta$ зменшується вдвічі, що рівнозначно зменшенню вдвічі параметра x кар'єра. Для цього застосовують подвоєні та потроєні уступи, а гірничу масу піднімають на поверхню конвеєрами.

4. Пошук екстремальних значень функції двох змінних в теоретичних та практичних дослідженнях.

Для знаходження критичних точок функції двох змінних розглядається система рівнянь

$$\begin{cases} z'_x = 0; \\ z'_y = 0. \end{cases}$$

Іноді цю систему складно або неможливо розв'язати точно. Якщо знайти оптимальні значення аргументів x_0 і y_0 в аналітичному, а не у наближеному чисельному вигляді, то можна дослідити вплив різних параметрів на оптимальне значення функції та виявити найбільш вагомі з них, що визначають ефективність виробництва. Відповідні дослідження були проведені на кафедрі відкритих гірничих робіт КНУ, професором Ю. Вілкулом [8, с. 59].

Для транспортування гірничої маси багато років застосовується комбінований транспорт. Гірнична маса з великої за розмірами робочої зони доставляється автосамоскидами до стаціонарної дробильної установки та піднімається на поверхню конвеєром. З часом робоча зона опускається нижче стаціонарної дробильної установки та розширюється, а відстань транспортування гірничої маси від екскаваторів значно зростає. Стаціонарна дробильна установка «консервує» велику частину робочої зони і не дає змоги дістати руду з нижче розташованих горизонтів.

Для вирішення зазначених проблем запропоновано використовувати кілька значно дешевших пересувних дробильних установок. При такій технології значно зменшуються затрати на автотранспорт, але збільшуються затрати на конвеєрний транспорт внаслідок ускладнення схем конвеєрів. Якщо розглянути схему з n концентраційних горизонтів по m перевантажувальних пунктах, то затрати на автотранспорт зменшуються в $m \times n$ раз, а затрати на конвеєрний транспорт збільшуються.

При зазначеній вище технології будується функція загальних затрат та знаходяться частинні похідні по параметрам m та n . При розв'язанні системи рівнянь отримані аналітичні вирази для оптимальних значень параметрів m_0 та n_0 забезпечують мінімум загальних затрат на автомобільно-конвеєрний транспорт. Окрім того, визначається оптимальна різниця висот між концентраційними горизонтами, а також відстань між перевантажувальними пунктами на кожному горизонті, з яких гірнична маса транспортується на перевантажувальний пункт. Наявність аналітичних виразів дозволяє встановити залежність отриманих значень від параметрів кар'єра, показників роботи автомобільного та конвеєрного транспорту. Розрахунки показали, що при річній продуктивності кар'єра 8-10 млн. т. доцільно використовувати один перевантажувальний пункт, при 10-18 млн. т. – три, а при 20-35 млн. т. – п'ять перевантажувальних пунктів.

Таким чином, аналітичний розв'язок такої системи рівнянь (необхідна умова екстремуму) дозволив зробити детальний аналіз з рекомендаціями щодо вибору оптимальних схем доставки гірничої маси. Необхідно зазначити, що сучасний розвиток комп'ютерної техніки, наявність автоматизованих систем проектування кар'єрів (John Come та інші, одна з них K-Mine, розроблена професором КНУ В. Назаренко) дозволяє обробити велику кількість варіантів та відібрати оптимальний з них.

5. Метод найменших квадратів. Апроксимація використовується для виявлення залежності між змінними y та x (згладжування пливу випадкових величин, похибок вимірювання). Одержану залежність використовують для знаходження значень функції, для прогнозування подальшої зміни y та x при моделюванні більш складних процесів.

Цікавим прикладом використання результатів апроксимації є дослідження професора КНУ Ю. Астаф'єва [9]. Ним досліджувалися основні тенденції розвитку кар'єрного автотранспорту різних виробників різної вантажопідйомності та встановлювалися залежності таких основних показників, як потужність двигуна, собівартість перевезення, розмір коліс, коефіцієнт тарності, потужність гідравлічної системи тощо. При цьому виявлявся основний тренд та нівелювалися випадкові відхилення, які вносять окремі фірми своїми конструкторськими рішеннями. За результатами апроксимації прогнозувалися основні показники при проектуванні автосамоскидів вантажопідйомністю 110-150 т. та формувалися завдання на проектування окремих складових характеристик. Крім того, знайдені апроксимації було запропоновано використати для прогнозування й інших характеристик для автосамоскидів вантажопідйомністю 300-400 т.

На базі методу найменших квадратів здобувачам також пропонується вирішувати практичні задачі з встановлення кореляційних двофакторних і багатфакторних зв'язків між вихідними коливаннями якості руди, параметрами рудопотоків, складів тощо з якістю виробленого концентрату. При цьому, здобувачів знайомлять з науковими дослідженнями з цієї проблеми учених університету та їх прикладним значенням [10, с. 35].

6. Метод множників Лагранжа. Як одну із задач розділу вищої математики «Функції багатьох змінних», здобувачам пропонується проведення досліджень на існування умовного екстремуму функції за допомогою методу множників Лагранжа. Рішення прикладних задач такого типу базується на наукових працях професора КНУ В. Ковальчука [11]. Формалізація прикладних задач за цією темою базується на проблемі забезпечення обсягами концентрату заданої якості, який необхідно виробити.

У будь-якому кар'єрі є характерні ділянки з наявністю руди певної якості, яка характеризується виходом концентрату, вмістом заліза магнітного, коефіцієнтом розкриття. Відпрацювання ділянок необхідно планувати з дотриманням необхідного середнього вміст заліза в руді, що дасть змогу забезпечити виробництво концентрату певної якості. Планування розвитку гірничих робіт здійснюється за коефіцієнтом розкриття, а керованими змінними виступають обсяги руди і розкриття. Економічну оцінку оптимального варіанта зроблено за сумарними експлуатаційними витратами на видобувні і розкритві роботи.

Нехай кар'єр розділено на r ділянок, а коефіцієнт розкриву є основою для складання цільової функції технолого-математичної моделі, m^3/t

$$\frac{V_1 + \dots + V_i + \dots + V_r}{P_1 + \dots + P_i + \dots + P_r} = n \rightarrow \min \quad (i = \overline{1, r}),$$

де $P_1, \dots, P_i, \dots, P_r$ - обсяги руди, що необхідно вилучити з ділянок для забезпечення мінімального значення коефіцієнта розкриву; $V_1, \dots, V_i, \dots, V_r$ - обсяги розкриву, що необхідно вилучити з ділянок для забезпечення мінімального значення коефіцієнта розкриву; n - коефіцієнт розкриву.

На цільову функцію накладаються наступні обмеження:
за кількістю виробленого концентрату

$$P_1 \cdot \gamma_{k1} + \dots + P_i \cdot \gamma_{ki} + \dots + P_r \cdot \gamma_{kr} = K \quad (i = \overline{1, r}),$$

де $\gamma_{k1}, \dots, \gamma_{ki}, \dots, \gamma_{kr}$ - вихід концентрату з різновидів руд, розташованих на i -й ділянці, частка од.; K - запланована кількість концентрату, що необхідно виробити;
за якістю заліза в руді частка од.,

$$\frac{Fe_{p1} \cdot P_1 + \dots + Fe_{pi} \cdot P_i + \dots + Fe_{pr} \cdot P_r}{P_1 + \dots + P_i + \dots + P_r} = Fe_p^{cep} \quad (i = \overline{1, r}),$$

де $Fe_{p1}, \dots, Fe_{pi}, \dots, Fe_{pr}$ - вміст заліза в руді на кожній ділянці кар'єра, частка од.; Fe_p^{cep} - середній вміст заліза в руді, що задовольняє вимогам до якості концентрату, частка од.;
за гірничотехнічними можливостями

$$P_i \leq P_i^{\max} \quad (i = \overline{1, r}),$$

де P_i^{\max} - максимально можливий обсяг видобутку руди на i -й ділянці, за гірничотехнологічними можливостями.

Кожна ділянка характеризується коефіцієнтом розкриву, а обсяги розкриву на i -й ділянці можна виразити: $V_i = P_i \cdot n_i$.

Для рішення задачі оптимізації, що поставлена вище, застосовано метод множників Лагранжа. Для цього за допомогою допоміжних змінних $P_1^!, \dots, P_i^!, \dots, P_r^!$ систему обмежень зводять до системи рівнянь

$$P_i + P_i^! = P_i^{\max} \quad (i = \overline{1, r}).$$

Функція Лагранжа для визначення умовного екстремуму набуде вигляду

$$F(P_1, \dots, P_i, \dots, P_r, P_1^!, \dots, P_i^!, \dots, P_r^!, \lambda_1, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_{r+2}) = \frac{P_1 \cdot n_1 + \dots + P_i \cdot n_i + \dots + P_r \cdot n_r}{P_1 + \dots + P_i + \dots + P_r} + \lambda_1 (K - (P_1 \cdot \gamma_{k1} + \dots + P_i \cdot \gamma_{ki} + \dots + P_r \cdot \gamma_{kr})) + \lambda_2 \cdot \left(Fe_p^{cep} - \frac{Fe_{p1} \cdot P_1 + \dots + Fe_{pi} \cdot P_i + \dots + Fe_{pr} \cdot P_r}{P_1 + \dots + P_i + \dots + P_r} \right) + \lambda_3 \cdot (P_1^{\max} - P_1 - P_1^!) + \dots + \lambda_{i+2} \cdot (P_i^{\max} - P_i - P_i^!) + \dots + \lambda_{r+2} \cdot (P_r^{\max} - P_r - P_r^!),$$

де λ_j - множник Лагранжа ($j = \overline{1, r+2}$).

Запропонований метод визначення оптимального співвідношення обсягів видобутку між ділянками, який практично задає режим гірничих робіт, передбачає також гірничо-технологічне їх обґрунтування, яке залежить від конкретних умов розробки. Планування гірничих робіт в межах встановленого перспективного напрямку їх розвитку повинне виходити з умови встановлення для кожної ділянки оптимальних показників: обсягів руди і розкриву; параметрів системи розробки; коефіцієнта розкриву у зв'язку з розкриттям і підготовкою нових горизонтів в кар'єрі.

Рішення наведених професійно-орієнтованих задач ґрунтується на використанні загальнологічних та загальнонаукових методів дослідження. Зокрема, при побудові та аналізі графічних моделей застосовано методи формалізації, аналогії та верифікації абстрактних моделей кар'єра і конкретних результатів його функціонування. Методи моделювання, оптимізації та емпіричного дослідження використано при встановленні взаємозв'язків технологічних показників і параметрів роботи кар'єрів та знаходженні їх екстремальних значень. Окрім цього, при опрацюванні науково-методичної літератури використано методи аналізу і узагальнення.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Підготовка якісного фахівця в сучасних умовах неможлива без поєднання абстрактних теоретичних знань з вищої математики з практичними завданнями, що формують його компетентності. Виходячи з цього, в статті окреслено систему професійно-орієнтованих задач з розділу вищої математики «Функції багатьох змінних» для здобувачів вищої освіти спеціальності «Гірництво». Акцентовано увагу на наступність застосування методів цього розділу вищої математики у науково-дослідницькій діяльності провідних вчених-гірників університету і підготовки фахівців за цією спеціальністю. Запропонована методика викладання матеріалу дає можливість усвідомлено підходити до вивчення фахових дисциплін, виконання кваліфікаційних та науково-дослідних робіт. Такий пропедевтичний підхід не обмежується тільки зазначеним розділом і може бути поширений й на інші розділи вищої математики, що є напрямком подальших досліджень.

Список літератури

1. **Schulte P.** The entrepreneurial university: a strategy for institutional development. Higher education in Europe. 1998. Vol. 29. Is. 2. P. 187-191.
2. **Безусова Т.А.** Пути организации компетентного подхода в сфере высшего профессионального образования. Фізико-Математична Освіта. № 1 (15). 2018. С. 137-141.
3. **Тимошенко І.В., Мороз С.Є., Калашник О.В.** Комерціалізація вищої освіти: баланс між перевагами та ризиками. БізнесІнформ. № 6. 2021. С. 72-77.
4. **Vaskivska, H.** Didactic aspects of upper secondary and university education fundamentalization. Science and Education. 2017. Issue 5. P. 46-50.
5. **Мурашківська В.П., Казнадій С.П.** Окремі аспекти формування професійної компетентності майбутніх інженерів-механіків у процесі математичної підготовки у ВНЗ. Фізико-Математична Освіта. № 4 (18). 2018. С. 121-125.
6. **Завсєгдашний В.А.** Теоретические и методологические основы автоматизированного планирования горных работ железнорудных карьеров: дис. докт. техн. наук: 05.15.03. Кривой Рог, 1997. 247 с.
7. **Бизов В.Ф.** Управление качеством продукции карьеров: учеб. пособ. Москва: Недра, 1991. 239 с.
8. **Вілкул Ю.Г., Слободянюк В.К., Максимов І.І.** Оптимізація кількості концентраційних горизонтів при використанні автомобільно-конвеєрного транспорту. Розробка рудних родовищ. 2010. Вип.94. с.59-63.
9. **Астафьев Ю.П.** Добыча руд открытым способом за рубежом. Москва, 1983. 325 с.
10. **Бизов В.Ф., Вілкул Ю.Г., Максимов І.І.** Частотный состав колебаний качества руды на карьерах Кривбасса. Горный журнал. 1982. № 5. С. 35-37.
11. **Ковальчук В.А., Ковальчук Т.М.** Планування режиму гірничих робіт у кар'єрах: монографія. Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2009. 211 с.

УДК 621.181:62

В.В. СУРТАЄВ, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

ПАРАМЕТРИ РОБОТИ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНИХ УСТАНОВОК, ПРИСТРОЮ ТА СИСТЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ПАРОГАЗОВИХ ВИКИДІВ З ТЕПЛОВИМИ НАСОСАМИ

Мета. Метою роботи є встановлення закономірностей процесу тепломасообміну в системах, пристроях та установках утилізації тепла з використанням теплонасосних установок (ТНУ), розробці ефективних рішень по їх використанню, в даному аспекті дослідження: проаналізовано стан питання енергозбереження вторинних енергоресурсів та їх ефективність використання, розвиток використання перспективного обладнання електро- і теплогенерації на низькокиплячих РТ.

Методи дослідження. Аналіз стану питання; математичне моделювання з визначенням обґрунтованих параметрів і дослідження енергетичної ефективності використання парогазових сумішей і можливостей генерації теплоти, електроенергії; визначення конструктивних параметрів і параметрів контактної тепломасообміну в контактному апараті на базі «форсунок камер» і їх впливу на ефективність роботи теплоутилізаційної системи, пристрою і установок з використанням, обладнання електро- і теплогенерації на низькокиплячих РТ.

Наукова новизна полягає в тому, що: аналізом і математичним моделюванням отримано графічну залежність між коефіцієнт трансформації теплового насоса 3,5-6,5 в діапазоні параметрів теплоносія – температура 5-30 (джерела вторинних енергоресурсів), стосовно до розроблених енергозберігаючих та екологічно безпечних технологій утилізації теплоти процесів мокрого гасіння коксу та мокрої грануляції металургійних шлаків та інших наявних джерел, у тому числі шахтних вод і т.п. що представлені в Україні в цілому та Криворізькому регіоні зокрема.

Практична значимість. Розробка рекомендацій по впровадженню ТНУ: перевірка і техніко-економічне обґрунтування систем, пристроїв та установок утилізації тепла теплоенергетичного і електро- і теплогенерації на низькокипячих РТ; розробка рекомендацій по їх застосуванню.

Результати. Висвітлені в НДР на тему «Обґрунтування параметрів систем утилізації тепла теплоенергетичного обладнання» (номер державної реєстрації РК№ 0116U001825) і у науковій праці «Теплові насоси в промисловій і комунальній сферах України» (кер. Суртаєв В.В.). Представлені науково-практичні результати у вигляді графічної залежності для визначення коефіцієнта трансформації ТНУ в діапазоні параметрів теплоносія (джерела вторинних енергоресурсів).

Ключові слова: форсункова камера, тепло - і масообмін, утилізація теплоти, обладнання, установка

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-76-85

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Тепловий насос (ТНУ) як засіб використання вторинних енергоресурсів. Стан питання енергозбереження в Україні підтверджує актуальність даного вибраного досліджуваного питання використання ТНУ з теплоутилізаційними установками, в наш час, є важливою науковою задачею [1-5, 10, 15].

Незбалансоване внутрішнє споживання паливно-енергетичних ресурсів має наслідком зниження якості життя населення [5, 14]. Під останнім розуміється те, що функціонування існуючих теплоенергетичних потужностей з застарілими енергетично витратними технологіями, підтримується шляхом інвестування проектів їх реабілітації, а не впровадженням сучасних енергетично ефективних технологій. Це значить, що в результаті такого інвестування не вирішуються питання раціонального використання енергоресурсів.

Аналіз досліджень та публікацій. Використання ТНУ для потреб теплопостачання. З кожним роком стає більш актуальним питання, пов'язані з подальшими шляхами розвитку енергетики. З однієї сторони, ріст населення, прагнення до підвищення життєвого рівня людей диктують доцільність нарощування потужностей енергетики, і в першу чергу електроенергетики, причому просто гігантськими темпами; з іншого боку, що виникають екологічні проблеми, виснаження природних джерел сировини, і, у першу чергу, нафти і газу, що вимагає більше економічного й раціонального використання отриманої енергії і потенційної енергії її джерел.

Згідно останнім даним Мірової енергетичної ради, надрукованим в звіті «Енергія для завтрашнього миру», доведені досяжні запаси органічного палива в світі складають 1220 млрд.т.у.п., тоді як недосяжні ресурси, оцінені досить умовно - в 4,5 рази більше. З врахуванням традиційних ресурсів (важкої нафти, природного газу, бітуму і нафтових сланців) це дане перевищення над вказаними запасами буде складати близько 5,2 рази. Прагнення зменшити витрати первинної енергії без зниження або навіть зі збільшенням віддачі енергії кінцевому споживачеві за рахунок більш раціонального способу її перетворення – головна тенденція сучасної науки і техніки.. Прагнення раціонально витратити енергію зближає народи – це видно по діяльності Міжнародного енергетичного агентства і Європейського економічного співтовариства, що фінансують спільні енергетичні проекти [5]. Основними недоліками традиційних джерел теплопостачання є порівняно малі, економічна і екологічна ефективність (традиційні теплові мережі є одним з основних джерел забруднення більших міст), крім того, високі транспортні тарифи на доставку енергоносіїв збільшують негативні фактори.

Всі перераховані негативні фактори традиційного теплопостачання настійно вимагають інтенсивного використання нетрадиційних методів. Одним з таких методів є корисне використання розсіяної низькотемпературної природної теплоти або скидної промислової теплоти для теплопостачання з ТНУ. В роботах висвітлено [4, 8, 16, 17], що ТНУ, знайшли широке застосування за рубежом, їх масове виробництво налагоджено практично у всіх розвинених країнах.

Постановка задачі. У порівнянні з традиційними системами теплопостачання ТНУ має ряд переваг, а саме: економічність, ТНУ використовує підведену енергію ефективніше любих традиційних джерел теплової енергії, що використовують паливо. Зазвичай ТНУ порівнюють по особливій величині – коефіцієнту перетворення теплоти (ϕ), серед інших його назв використовують: коефіцієнт трансформації теплоти, потужності, перетворення температур. Він характеризує відношення отриманої теплоти до витраченої енергії. Наприклад, $\phi = 3,5$ означає, що підводячи до машини 1 кВт, на виході отримаємо 3,5 кВт теплової потужності. В середньому від 60 до 75% потреби теплопостачання дому від ТНУ забезпечується безкоштовно. Дійсні, первісні витрати на насос і монтаж системи збору теплоти досить відчутні і складають приблизно 300-1200 дол. США на 1 кВт потреби в потужності опалення. Але капіталовкладення окуп-

ляться за 4-9 років тільки за рахунок економії палива і електрики. Слугують вони по 15-20 років до капремонту, в той же час як газове опалювальне обладнання потребує постійного обслуговування, в іншому випадку воно стає небезпечним. В перспективі, в зв'язку з зростанням цін на всі види палива, їх лідерство забезпечено [5, 7]. Повсюдність застосування ТНУ - джерело розсіяного тепла можна знайти практично в будь-якому куточку планети (це стосується промислових, геотермальних і інших джерел теплоти) [5, 7].

Що ж стосується екологічності, то в ТНУ, як відомо, не призводить до утворення шкідливих викидів які містять: CO, CO₂, NO_x, SO₂ і ін., тому не відбувається забруднення ґрунтів, тобто відсутні сліди: сірчаної, азотної, фосфорної кислот и бензолних з'єднань. Фреони, що застосовуються в теплових насосах, не містять хлорвуглеводнів і тому озонобезпечні [5, 7, 19]

Приймаючи питому витрату на виробку 1 кВт·год. електроенергії рівною 300 г у.п., не важко, дати порівняльну оцінку шкідливих викидів за опалювальний сезон (5448 год.) від різних теплоджерел (табл. 1 – теплової потужності 1,16 МВт).

Слід зазначити універсальність ТНУ - теплові насоси мають властивість оборотності (реверсивності). Вони можуть відбирати теплоту з повітря будинку, забезпечуючи його кондиціювання в літній період. Безпека. Ці агрегати вибухо- і пожаробезпечні. Ні палива, немає відкритого вогню, небезпечних газів або сумішей. Жодна деталь не нагрівається до температур, здатних викликати загоряння горючих матеріалів. Зупинки ТНУ не приводять до його поломок або замерзання рідин [6]. Таким чином, потенційні ресурси поновлюваних джерел енергії становлять істотну частку потреб людства в енергії. Світове споживання цих даних джерел на сьогоднішній день становить лише незначну частку. Це пояснюється в першу чергу тим, що в силу низької концентрації не поновлюваних джерел енергії і їх нерівномірного розподілу по поверхні Землі питомі витрати на одиницю потужності і вартість енергії при сучасних технологіях дуже великі, і не можуть конкурувати із традиційними джерелами енергії. Саме тому, використання низькопотенційних джерел енергії для цілей теплопостачання є важливим і актуальним напрямком сучасної й перспективної енергетики, а ТНУ - перспективними енергетичними установками, що використовують низькопотенційні джерела енергії, про що детально висвітлено у роботі [5].

Таблиця 1

Порівняльна оцінка шкідливих викидів за опалювальний сезон (5448 год.) від різних теплоджерел (наприклад, тепловою потужністю 1,16 МВт [19])

Вид шкідливого викиду, т/рік	Котельня на вугіллі	Електрообігрів	ТН, з середньорічним КОП = 3,6
SO _x	21,77	38,02	10,56
NO _x	7,62	13,31	3,70
Тверді часточки	5,8	8,89	2,46
Фтористи з'єднання	0,182	0,313	0,087
Всього	34,65	60,53	16,81

Викладення матеріалу і результати. Наприклад, на коксохімічному виробництві КДГМК «Криворіжсталь», у зв'язку з виведенням із експлуатації технології сухого гасіння коксу, охолодження коксу провадиться за технологією мокрогасіння. Остання характеризується тим, що з парогазовими викидами в атмосферу міста втрачається близько 1,5 млн. Гкал. теплоти на рік (на опалення однієї трикімнатної квартири в кліматичній зоні Кривого Рогу потрібно 10-12 Гкал. теплоти на опалювальний сезон), при цьому завдається значна шкода навколишньому середовищу тому, що так звана «технічна гасильна вода», яку використовують для гасіння коксу, містить в значних кількостях забруднюючі речовини, що висвітлено в роботах [7, 9, 11, 12, 27]. Також важливо виділити наступний факт: втрати теплової енергії з парогазовими викидами в установках для мокрої грануляції доменних шлаків у другому доменному цеху (ДП-9) ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» складають близько 44 тис. Гкал. на рік на кожній грануляційній (загальні втрати в процесах мокрої грануляції металургійних шлаків складають – 2,5 млн. Гкал. і супроводжуються забрудненням атмосферного повітря міста). Слід відмітити що, в наш час, існує запатентована авторами енергозберігаюча технологія мокрої грануляції металургійних шлаків (патент України №55206А [1, 4]), яка дозволяє вирішити дані проблеми при відносно невеликих інвестиціях. Реалізація теплової енергії в теплові мережі міста з вартістю, яка на 30-45% нижча за діючі тарифи забезпечить також експлуатацію очисних споруд, дасть можливість реконструювати місцеві теплові мережі для транспортування теплоносія [13, 2]. Відомості

про інші джерела наявних втрат паливно-енергетичних ресурсів, в тому числі в Криворізькому регіоні, детально викладені в роботах [2, 5].

ТНУ як засіб використання вторинних енергоресурсів. Теплопостачання в умовах України з її тривалими і досить суворими зимами вимагає великих витрат палива, які перевершують майже в 2 рази витрати на електропостачання, що детально висвітлено в роботах [3, 8]. Використання теплових насосів для потреб теплопостачання детально описані в роботах [3, 8]. Всі перераховані негативні фактори традиційного теплопостачання настійно вимагають інтенсивного використання нетрадиційних методів. Одним з таких методів є корисне використання розсіяної низькотемпературної природної теплоти або скидної промислової теплоти для теплопостачання за допомогою ТНУ [3]. ТНУ, на відміну від перерахованих недоліків традиційних джерел, знайшли широке застосування за кордоном, що висвітлено у роботі [5, 9], зокрема, масове виробництво теплових насосів налагоджено практично у всіх розвинених країнах.

Основні переваги ТНУ. ТНУ використовує підведену енергію ефективніше будь-яких традиційних джерел теплової енергії, що використовують паливо. Зазвичай ТНУ порівнюють по особливій величині - коефіцієнту перетворення теплоти (ϕ), серед інших його назв використовують: коефіцієнт трансформації теплоти, потужності, перетворення температур. Він характеризує відношення отриманої теплоти до витраченої енергії. Наприклад, $\phi = 3,5$ означає що підвівши до машини 1 кВт, на виході ми отримаємо 3,5 кВт теплової потужності. У середньому від 60 до 75 % потреб теплопостачання будинку від ТНУ забезпечується безкоштовно що підтверджує їх економічність. Дійсно, початкові витрати на насос і монтаж системи збору теплоти досить відчутні і становлять приблизно дол. США 300-1200 на 1 кВт потреби в потужності на опалення. Але капіталовкладення окупляться за 4-9 роки тільки за рахунок економії палива та електрики. Служать вони по 15-20 років до капремонту в той час як газове опалювальне обладнання потребує постійного обслуговування, в іншому випадку воно стає небезпечним. У перспективі, у зв'язку із зростанням цін на всі види палива, їх лідерство забезпечене [7]. Повсюдність застосування обумовлена практично повсюдністю джерел розсіяної теплоти можливо знайти практично у будь-якому куточку планети [12].

Екологічність полягає в тому, що в ТНУ можуть бути використані фреони що не містять хлорвуглеводнів і тому озонобезпечні [7, 9, 19] Універсальність ТНУ полягає у властивості оборотності (реверсивності). Вони можуть відбирати теплоту з повітря будинку, забезпечуючи його кондиціонування в літній період [3]. Ці агрегати вибухо- та пожегобезпечні. Жодна деталь не нагрівається до температур, здатних викликати загоряння горючих матеріалів. Зупинки ТНУ не призводять до його поломок або замерзання рідин [6, 7, 9, 17, 19].

Принцип дії ТНУ полягає в перенесенні теплової енергії від джерела низькопотенційної теплової енергії (з низькою температурою) до споживача (теплоносія) з більш високою температурою. Термодинамічно ТНУ являє собою обернену холодильну машину. Якщо в холодильній машині основною метою є виробництво холоду, шляхом відбору теплоти, з будь-якого об'єму випарником, а конденсатор здійснює скидання теплоти в навколишнє середовище, то в ТНУ картина зворотня. Конденсатор є теплообмінним апаратом, виділяє теплоту для споживача, а випарник - теплообмінним апаратом, що утилізують низькопотенційну теплоту: вторинних енергетичних ресурсів і (або) нетрадиційних відновлюваних джерел енергії [5].

Основу експлуатованого сьогодні у світі парку теплонасосного обладнання складають пароконпресорні ТНУ, але застосовуються також і абсорбційні, електрохімічні та термоелектричні. Ефективність ТНУ прийнято характеризувати величиною безрозмірного коефіцієнта трансформації енергії K_{mp} (див. рис. 1-4), що визначається для ідеального циклу Карно за такою формулою [20]

$$K_{mp} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}, \quad (1)$$

де T_1, T_2 – температури, відповідно, на виході і на вході насоса.

Коефіцієнт трансформації ТНУ, або теплонасосної системи теплопостачання (ТСТ) K_{mp} представляє собою відношення корисної теплоти, що відводиться в систему ТСТ, до енергії, що витрачається на роботу ТСТ, і чисельно дорівнює кількості корисної теплоти, отриманої при температурах T_1 і T_2 , на одиницю енергії, витраченої на привід електродвигуна. Реальний коефіцієнт трансформації відрізняється від ідеального на величину коефіцієнта h , враховує ступінь

термодинамічної досконалості і незворотні втрати енергії при реалізації циклу. При побудові залежностей, ступінь термодинамічної досконалості h була прийнята рівною 0,55, а температурний напір (різниця температур хладону і теплоносія) у конденсаторі і в випарнику ТНУ дорівнювала $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5, 15]. Ці значення ступеня термодинамічної досконалості h і температурного напору між хладоном і теплоносіями системи опалення та теплозбору представляються близькими до дійсності з точки зору врахування реальних параметрів теплообмінної апаратури (конденсатор і випарник) ТНУ, а також суміжних витрат електричної енергії на привід циркуляційних насосів, систем автоматизації, запірної і керуючої арматури. У загальному випадку ступінь термодинамічної досконалості ТСТ h залежить від багатьох параметрів, таких, як: потужність компресора, якість виробництва комплектуючих ТНУ і необоротних енергетичних втрат, які, у свою чергу, включають [5, 15, 20]: втрати теплової енергії в сполучних трубопроводах; - втрати на подолання тертя в компресорі; втрати, пов'язані з неідеальними теплових процесів, що протікають в випарнику і конденсаторі, а також з неідеальними теплофізичних характеристик хладонів; механічні та електричні втрати в двигунах та ін.

У роботі [5, 20] представлені «середні» значення ступеня термодинамічної досконалості h для деяких типів компресорів, використовуваних у сучасних ТСТ. Як і холодильна машина, ТНУ споживає енергію на реалізацію термодинамічного циклу (привід компресора). Коефіцієнт перетворення ТНУ залежить від рівня температур в випарнику і конденсаторі і коливається в різних системах в діапазоні від 2,5 до 5, тобто на 1 кВт витраченої електричної енергії ТНУ виробляє від 2,5 до 5 кВт теплової енергії. Звичайний експлуатаційний температурний рівень теплопостачання від ТНУ знаходиться в межах від 35 до $55\text{ }^{\circ}\text{C}$. При цьому економія енергетичних ресурсів сягає 70 %. Промисловість розвинених країн випускає широкий асортимент парокompресійних ТНУ тепловою потужністю від 5 до 1000 кВт [5, 20]. Типи ТНУ. Залежно від принципу роботи ТНУ поділяються на компресійні та абсорбційні. Компресійні ТНУ завжди приводяться в дію за допомогою механічної енергії або електроенергії, в той час як абсорбційні ТНУ можуть також використовувати теплоту в якості джерела енергії, тобто діяти за допомогою електроенергії або палива.

Згідно роботи [21], залежно від джерел теплоти, ТНУ поділяються на геотермальні: засновані на використанні теплоти землі, наземних або підземних ґрунтових вод – замкненого типу: горизонтальні, з розміщенням колекторів у горизонтальних траншеях нижче глибини промерзання ґрунтів, при цьому колектор розміщується кільцями або звивисто (зазвичай на глибинах від 1,20 м і більше). Такий спосіб є найбільш економічно ефективним для житлових об'єктів за умови відсутності дефіциту земельної площі під контур [22]; вертикальні, з розміщенням колекторів в свердловині глибиною до 200 м і застосовується у випадках коли площа земельної ділянки не дозволяє розмістити контур горизонтально або існує загроза пошкодження ландшафту: водні колектори розміщується звивисто або кільцями у водоймі (озері, ставку, річці) нижче глибини промерзання. Це найбільш дешевий варіант, але є вимоги щодо мінімальної глибини і об'єму води в водоймі для конкретного регіону; б) відкритого типу – подібна система використовує в якості теплообмінної рідини воду, що циркулює безпосередньо через систему геотермального ТНУ у відкритому циклі, тобто вода після проходження по системі повертається в землю. Цей варіант можливо реалізувати на практиці лише за наявності достатньої кількості відносно чистої води і за умови, що такий спосіб використання ґрунтових вод не заборонений законодавством. Повітряні. Джерелом відбору теплоти є повітря. Використовується похідна теплота (вторинні енергоресурси) (наприклад, теплота трубопроводів центрального опалення). Подібний варіант є найбільш доцільним для промислових об'єктів, де є джерела низькопотенційної теплоти, яке вимагає утилізації [22]. По виду теплоносія у вхідному і вихідному контурах ТНУ поділяють на шість типів: «ґрунт-вода», «вода-вода», «повітря-вода», «ґрунт-повітря», «вода-повітря», «повітря-повітря». У роботі [20] наведені основні характеристики деяких типів ТНУ.

Джерела низькопотенційної енергії. Відбір теплоти від повітря. Ефективність і вибір певного джерела теплової енергії сильно залежить від кліматичних умов, особливо, якщо джерелом відбору теплоти є атмосферне повітря. По суті цей тип більш відомий у вигляді кондиціонера. У країнах з жарким кліматом таких пристроїв десятки мільйонів. Для північних країн найбільш актуальний саме обігрів взимку. Системи «повітря-повітря» використовуються і взимку при температурах до мінус $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Але їх ефективність різко падає. При більш сильних морозах потрібно додаткове опалення [23]. В роботах [5, 23, 24] зокрема детально розглянуто від-

бір теплоти від гірської породи, відбір теплоти від ґрунту. Якщо теплота із зовнішнього контуру все ж таки недостатньо для опалення в сильні морози, практикується експлуатація насоса в парі з додатковим генератором теплоти (у таких випадках говорять про використання бівалентної схеми опалення). Коли вулична температура опускається нижче розрахункового рівня (температури бівалентності), в роботу включається другий генератор теплоти - найчастіше невеликий електронагрівач [24].

Обмеження застосовності ТНУ. Основним недоліком ТНУ є зворотна залежність його ефективності від перепаду температур між джерелом теплоти і споживачем. Це накладає певні обмеження на використання систем типу «повітря - вода». Реальні значення ефективності сучасних ТНУ становлять близько 2,0 при температурі джерела - +20 °С, і порядку 4.0 при температурі джерела - +7 °С. Це призводить до того, що для забезпечення заданого температурного режиму споживача при низьких температурах повітря необхідно використовувати обладнання зі значною надлишковою потужністю, що пов'язане з нераціональним використанням капіталовкладень (втім, це стосується і будь-яких інших джерел теплової енергії). Вирішенням цієї проблеми є застосування так званої амбівалентної схеми опалення, при якій основну (базову) навантаження несе ТНУ, а пікові навантаження покриваються допоміжним джерелом (наприклад, газовий або електричний котли). Оптимальна потужність ТНУ становить 60 ... 70 % від необхідної встановленої потужності. У цьому випадку ТНУ забезпечує не менше 95 % потреби споживача в тепловій енергії за весь опалювальний сезон. При такій схемі середньосезонний коефіцієнт перетворення енергії для кліматичних умов Центральної Європи дорівнює приблизно 3 [5, 25]. Коефіцієнт використання первинного палива для такої системи легко визначити, виходячи з того, що ККД теплових електростанцій становить від 40 % (теплові електростанції конденсаційного типу) до 55 % (парогазові електростанції). Відповідно, для розглянутої ТНУ установки коефіцієнт використання первинного палива знаходиться в межах 120 .. 165 %, що в 2 .. 3 рази вище, ніж відповідні експлуатаційні характеристики газових котлів (65 %) або систем центрального опалення (50 ... 60 %). Зрозуміло, що системи, що використовують геотермальний джерело теплоти або теплоту ґрунтових вод, вільні від цього недоліку. Наслідком цього ж недоліку є необхідність використання низькотемпературних систем опалення (системи поверхневого нагріву типу «тепла підлога» та ін. Проте це обмеження стосується тільки застарілих радіаторних систем опалення, практично не знаходять застосування в сучасних технологіях будівництва [25].

Перспективи розвитку ТНУ висвітлені в роботі [25]. Існує і альтернативний погляд на економічну доцільність встановлення ТНУ. Тому масове використання ТНУ у приватному секторі можна очікувати якщо вартість ТНУ обладнання буде порівнянна з витратами на установку газового опалення та підключення до газової мережі. Ще більш багатообіцяючою є система, що комбінує в єдину систему теплопостачання геотермальне джерело і ТНУ. При цьому геотермальне джерело може бути як природного (вихід геотермальних вод), так і штучного походження (свердловина із закачуванням холодної води в глибокий шар і виходом на поверхню нагрітої води) [25].

Розрахунок ТНУ. Економічний розрахунок доцільності застосування ТНУ для гарячого водопостачання. Розглянемо, для прикладу, шахту, кількість яких у Кривому Розі та й в цілому в Україні достатньо значна. На шахтах є постійне джерело низькопотенційного теплоносія з температурою в межах 10-12 °С. Це скидна шахтна вода, при її використанні в ТНУ на 1 кВт витраченої електроенергії може бути отримано 3,7 кВт теплової. Коефіцієнт ϕ ефективності ТНУ залежить від температури низькопотенційного теплоносія (в даному випадку шахтна вода). Так, наприклад, при температурі +5 °С він дорівнює 3,6, при +10 °С - 4,06, при +15 °С - 4,6, +20 °С - 5,35, +25 °С - 5,98, +30 °С - 6,64, +35 °С - 7,19, +40 °С - 7,93 [26, 15].

Наведемо приклад економічного аналізу доцільності використання ТНУ для гарячого водопостачання шахти. Застосовано тепловий насос ТН - 300, у якого при споживаній потужності 90 кВт номінальна потужність 300 кВт. На шахті для гарячого водопостачання банно-прального комплексу в літній час використовується котел потужністю 8 МВт, що споживає близько 400 т вугілля на місяць. На гаряче водопостачання (прийємо до розрахунку вартість 1 т вугілля (наприклад 59 грн.) влітку для шахти витрати $C_u = 23,6$ тис. грн. на місяць, а за п'ять місяців літнього періоду - 118 тис. грн. Введення в дію ТНУ не тільки виключить ці витрати, але й дозволить повністю зупинити котельню в літню пору [26, 15].

Для роботи ТНУ необхідне джерело помірно теплої води. На шахті з горизонту 400 м постійно відкачується близько $400 \text{ м}^3/\text{год.}$ води з температурою $10\text{-}15 \text{ }^\circ\text{C}$ залежно від пори року, що достатньо для нормального режиму роботи ТНУ (необхідний витрата води $40\text{-}50 \text{ м}^3/\text{год.}$ при температурі $5\text{-}10 \text{ }^\circ\text{C}$). Насос ТН-300 здатний нагріти воду до $60 \text{ }^\circ\text{C}$ при витраті $30 \text{ м}^3/\text{год.}$ У лазню подається приблизно $40 \text{ м}^3/\text{год.}$ води при температурі $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Така витрата і температурний режим забезпечуються ТНУ при розведенні в змішувачі, гарячої води, що виходить з ТНУ, холодною. Передбачено використання існуючої будівлі бойлерної для розміщення в ній ТНУ, використання комунікацій, насосів, що відкачують воду з шахти [5, 15, 26]. Оцінимо економічний ефект застосування ТНУ для потреб банно-прального комплексу шахти при подачі гарячої води від ТНУ в обсязі $30 \text{ м}^3/\text{год.}$ протягом 10 годин на добу (4 рази по 2 години на кожну зміну плюс 2 години - запас для прання). Загальний час t роботи ТНУ за 5 місяців складе 1500 годин. Потужність N , споживання ТНУ при температурі охолоджувальної води $15 \text{ }^\circ\text{C}$ і коефіцієнті ефективності $\varphi = 4,6$, дорівнює 65. Споживання електричної енергії за час роботи ТНУ: $N_e = N \cdot t = 97,5$ тис. кВт. Прийmemo вартість електроенергії, наприклад $3_e = 6,14$ коп. за $1 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$, тоді витрати у вартісному вираженні складе $C = C_e \cdot N_e = 6$ тис. грн. за 5 місяців роботи ТНУ, або 1,2 тис. грн. місяць [5, 15, 26].

Вартість НКТ-300 становить в тис. дол. США складає 55. На прокладку водоводу від стовбура шахти до бойлерної (дві труби по 250 м) і на інші підготовчі роботи витрачається 10 тис. грн. Транспортні витрати на перевезення одного ТН-300 (габарити $1,8 \times 4, 5 \times 1, 7$ м, маса 5 т) при відстані 3500 км і вартості перевезення автотранспортом 65 коп./км, складають, 5 тис. грн. Вартість проекту прив'язки ТНУ дорівнює 25 тис. грн. Поточне обслуговування $C_t = 300$ грн. Загальне початкові витрати $3 = 150$ тис. грн. Термін окупності насоса $Z = 7$ місяців [5, 26].

Отже, витрати на переведення гарячого водопостачання шахти з котельні на тепловий насос НКТ-300 окупаються на друге літо експлуатації насоса при розрахунку економічного ефекту тільки з економії вугілля. Крім того, оскільки отримання теплоти відбувається без виділення в атмосферу шкідливих продуктів згоряння палив, то оплата за забруднення атмосфери виключається [26]. Таким чином, робота з освоєння технології застосування теплових насосів для гарячого водопостачання шахти і селищ з використанням як низькопотенційного теплоносія шахтної води актуальна, перспективна й екологічно вигідна.

Парокомпресійний цикл ТНУ. Розрахунок коефіцієнта трансформації $K_{\text{тр}}$ теплового насоса. З метою наближення до простого циклу Карно, а фактично - з метою створення максимально ефективного в роботі ТНУ, необхідно прагнути до підводу теплоти за умов, близьких до ізотермічності. Для цього підбираються робочі тіла, що змінюють агрегатний стан при необхідних температурах і тиску. Вони поглинають теплоту при випаровуванні і віддають при конденсації. Ці процеси утворюють ізотерми циклу. Стиснення пара холодоагенту, як правило, вимагає щоб пар був сухим, що обумовлено особливостями механіки більшості компресорів ТНУ. Потраплення рідини разом з паром на вхід компресора може пошкодити його клапани, а надходження великої кількості рідкого холодоагенту в компресор ТНУ може взагалі вивести його з ладу (якщо не вжиті запобіжні заходи) [5, 26].

Наведемо приклад циклу ТНУ з механічною компресією пари і його зображення в $p\text{-}V$ (тиск - питомий об'єм) діаграмі показані на рис. 1 далі. 1-2 - відбір теплоти від низькотемпературного джерела, холодоагент закипає; 2-3 - процес стиснення холодоагенту в компресорі; 3-4 - передача теплоти в систему опалення і конденсація холодоагенту в конденсаторі; 4-1 - процес дроселювання рідкого холодоагенту до початкових умов.

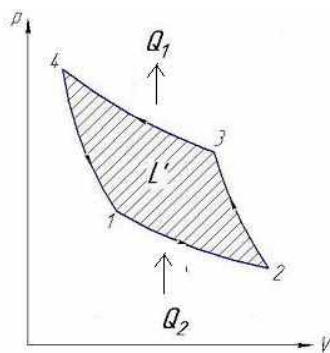


Рис. 1. Термодинамічний цикл теплового насоса в $p\text{-}V$ діаграмі [5, 14, 26]

Розглянемо цикл ТНУ тільки з сухою компресією пари і розширенням в дросельному клапані. Цей клапан представляє собою регульоване сопло або капілярну трубку. Відсутність розширювальної машини в циклі означає, що деяка кількість корисної роботи втрачається і коефіцієнт трансформації ТНУ зменшується. Як правило, це виправдано тим, що вартість розширювальної машини не окупається отриманою на ній роботою. Процес розширення в соплі незворотній. Зазвичай він розглядається як адіабатичний, тобто проходить без підведення або відведення теплоти при розширенні робочого тіла.

Тепер наведемо приклад циклу ТНУ в іншій формі, що широко застосовується на практиці для парокompресійних циклів діаграми «тиск - питома ентальпія» ($\ln p-h$), представленої на рис. 2 [5, 26].

Стисле робоче тіло під високим тиском залишає компресор в точці 1. Оскільки на вхід в компресора надходить тільки сухий пар і завдяки нахилу ліній постійної ентропії, в точці 1 пара перегріта. Перш ніж пара почне конденсуватися в точці 2, його слід охолодити при постійному тиску. Між точками 2 і 3 відбувається конденсація при постійній температурі (якщо немає витоків пари). Звідси видно, що теплообмінний апарат, в якому відбувається конденсація (конденсатор), завжди повинен бути розрахований на прийом перегрітого пара. Адіабатичне розширення зображується в $p-h$ діаграмі вертикальною прямою 3-4, і в цьому одна з причин зручності такої діаграми (рис. 3). Для розрахунку циклу необхідно знати стану робочого тіла тільки на вході в компресор ТНУ і виході з нього. Останнє зображується прямими лініями.

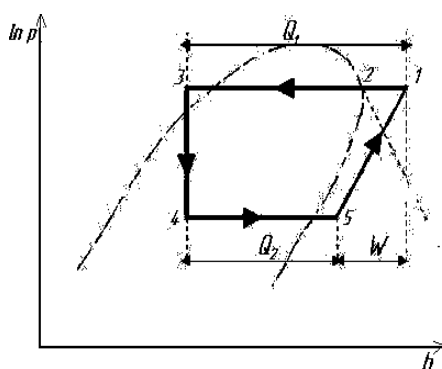


Рис. 2. Термодинамічний цикл ТНУ в $\ln p-h$ діаграмі [26]

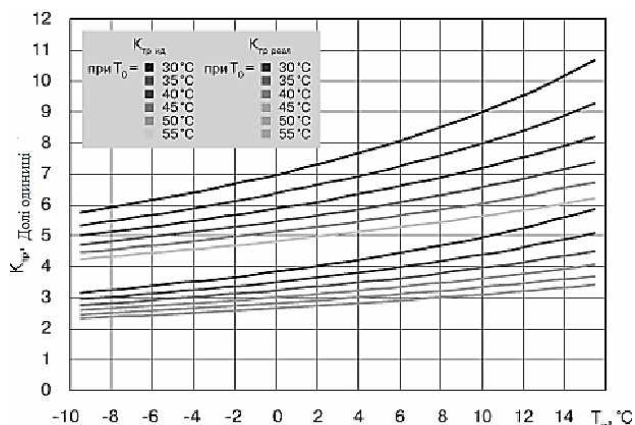


Рис. 3 Залежність величини коефіцієнта трансформації енергії від температури джерела низько потенційної теплоти

Випаровування відбувається при постійному тиску і температурі між точками 4 і 5. Слід зазначити, що розширення відбувається фактично в суміші рідини і пари. Суміш, що входить у випарник містить значну частку пара, іноді до 50% за масою, і ця частка робочого тіла, природно, вже не бере участі в процесі випаровування та поглинання теплоти. Між точками 5 і 1 відбувається ізоентропійне стиснення сухого пара. На практиці його реалізувати не можна, але тут розглянутий ідеалізований цикл. Його ефективність менше, ніж у циклу Карно, через незворотності процесу розширення.

Розглянемо ще одну важливу перевагу $p-h$ діаграми. Оскільки на горизонтальній осі відкладається ентальпія, вона допускає прямий відлік Q_1 , Q_2 і W . Тому з діаграми очевидно просте співвідношення $Q_1 = Q_2 + W$. У той же час дана діаграма дозволяє відразу оцінити значення коефіцієнту трансформації. Очевидно, що воно буде тим вище, чим менше інтервал тисків 3-4 (або, що те ж саме, чим менше інтервал температур) [5, 26].

Для отримання високого коефіцієнту трансформації значення Q_1 повинно бути велике, а W (робота стиснення) повинна бути мала. Також при погляді на $p-h$ діаграму будь-якого з холодоагентів можна швидко оцінити його придатність до роботи. Реальний парокompресійний цикл ТНУ. Робочі цикли ТНУ, розглянуті вище, є певною мірою ідеалізованими.

Хоча в них і враховувалися практичні обмеження, пов'язані з необхідністю стиснення тільки сухої пари, а також відсутність розширювальної машини, проте припускалось, що ККД всіх елементів дорівнює 100%. Розглянемо тепер, чим реальний ТНУ відрізняється від ідеального [5, 26]. Основним обладнанням теплового насоса є компресор. Як вже було сказано, компресор повинен стискати тільки суху пару і робоче тіло до входу в компресор повинно бути дещо перегріте. Перегрів створює зону безпеки для зменшення потрапляння крапель рідини в компресор. Це досягається ціною деякого збільшення компресора, оскільки він повинен стискати більш розріджений пар при тій же масовій витраті. Більш серйозна проблема полягає в підвищенні температури на виході з компресора, яка обмежується стійкістю вихлопних клапанів [5, 26].

Інша істотна різниця від ідеалізованого циклу ТНУ визначається ККД компресора. Через теплообміну між робочим тілом і компресором і незворотності течії всередині компресора під-

вищення ентальпії в ньому більше, ніж у ідеалізованому циклі, що також підвищує вихідну температуру. Підвищення ентальпії оцінюється ізоентропічним ККД компресора. На практиці поршневі компресори мають ізоентропічний ККД близько 70 %. Відзначимо, що ізоентропічне стиснення вимагає мінімальної роботи при неохоложеному компресорі. Роботу можна знизити шляхом його охолодження, але оскільки завданням ТНУ є віддача теплоти при високій температурі, таке охолодження не вигідно або фактично неможливо. Існують ще два показники ефективності компресора в ТНУ: механічний ККД (показує, яка частка роботи, підведеної до валу компресора, віддана робочому тілу - зазвичай він дорівнює 95 %) і об'ємний ККД, який впливає не на коефіцієнт трансформації, а на капіталовкладення в обладнання, так як визначає розміри компресора (його значення також у районі 95 %).

Втрати є і в інших елементах робочого циклу, а не тільки в компресорі. Коли робоче тіло проходить через теплообмінник, тиск дещо падає, наслідком чого є відхилення від ізотермічних умов при теплообміні, яке зазвичай не перевищує 1 градус. Це явище розглянуто у роботі [26] на прикладі реального пароконденсійного циклу ТНУ, в якому як холодоагент використовується фреон R-134a. Натомість у роботі [5], аналізом і математичним моделюванням з застосуванням сучасних методів обробки даних та ЕОМ отримано науково-практичні результати у вигляді графічної залежності рис.4, що дає можливість визначити коефіцієнт трансформації теплового насосу в діапазоні параметрів теплоносія (джерела вторинних енергоресурсів) та інших наявних джерел, у тому числі шахтних вод і т. п., що представлені в Україні. Значення даного коефіцієнта впливає на вибір ТНУ для застосування його для зазначених вище умов. Кінцеве рішення про застосування того чи іншого ТНУ доцільно приймати на основі економічного аналізу, приклад якого наведено у роботі [5].

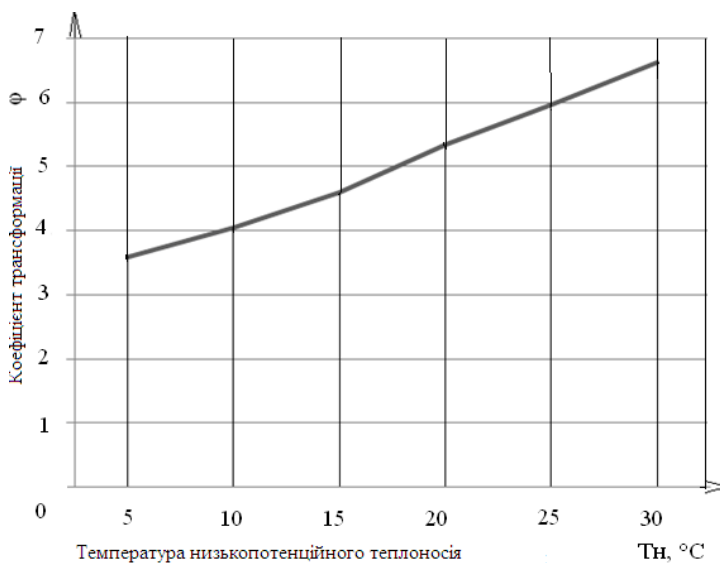


Рис. 4. Графік залежності T_n від коефіцієнту ϕ

Висновки та напрямки подальших досліджень. На основі вище викладеного можливо зробити наступні висновки: Досліджено можливість використання ТНУ спільно з технологіями використання вторинних енергоресурсів, та існуючих технологій утилізації теплоти і різних аспектів використання та можливостей застосування теплонасосних установок. В результаті аналізу встановлено джерела виділення низькопотенційної енергії в технологічних процесах гірничо-металургійного комплексу та окреслено перспективні технології для використання альтернативних джерел енергії на потреби теплозабезпечення; Розроб-

лені практичні рекомендації і методику розрахунків та конструктивних рішень ефективних засобів підбору ТНУ для використання вторинних енергоресурсів.

Список літератури

1. Патент України №55206А Пристрій для мокрої грануляції металургійних шлаків / Суртаєв В.В., Суртаєв В.М. - 17.03.2003 р. - Бюл. №3.
2. Суртаєв В. В. Система утилізації тепла и обезвреживания вредных выбросов при мокром тушении раскалённого кокса // Разраб. рудн. месторожд., 2002. - Вып.78. - С.150-154.
3. Підвищення ефективності утилізації теплоти при мокрому гасінні коксу. /Дисертація на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук., Суртаєва В.В. за спеціальністю 05.14.06. - «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. 2008.
4. Суртаєв В.В. Інноваційні технології мокрого гасіння коксу та грануляції металургійних шлаків з утилізацією теплоти та знешкодженням шкідливих викидів. // Суртаєв В.В. / Тези. В зб. Розвиток промисловості та суспільства. Матеріали конференції. Том 1.- Кривий Ріг, 2016. – С. 187.

5. Теплові насоси у промисловій та комунальній сферах України. /Наукова робота. // Цидуля П.А., кер. Суртаєв В.В. – Кривий Ріг. – 2011, 26 с.
6. Електронний ресурс: <http://www.ad.ugatu.ac.ru/knbase/conten.htm>
7. Електронний ресурс: <http://www.rdom.com.ua>
8. **Кокорин О. Я.** Установки кондиционирования воздуха / **Кокорин О. Я.**– М.: Машиностроение, 1970.-343 с.
9. **Білянський А.М.** Актуальні проблеми енергозбереження в житлово-комунальному господарстві України. // Тези доповідей на міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність - 2002», Київ, Навчальна книга, 2002, С. 41-42
10. Справочник коксохимика в 6-ти томах / Под ред. А. И. Шелкова.-М.: Металлургия.- 1965. - Т. 2: Производство кокса, - С.165-173.
11. Адсорбция фенолов : Информационная записка №2 к проекту очистки транзитных вод мокрого тушения кокса коксохимического производства комбината «Криворожсталь» / Материалы КДП «Экопром»; Научн. руководитель Коряков В. Б., автор технологии, к.т.н. Письменный В. Б., гл. инж. проекта, к.т.н. Белан Н. Д., утв. дир. КДП «Экопром» Сулимкович Ю. Н. - Жёлтые Воды: Б. и., 2000.
12. Коксохимическое производство : Отчёт. / ГИПРОМЕЗ; Фонды КГГМК «Криворожсталь».- Кривой Рог: Б. и., 1999. – 155 с.
13. **Нашокин В. В.** Техническая термодинамика и теплопередача / **Нашокин В. В.**; Изд. 3-е, исп. и доп.- М.: Высшая Школа, 1980. – 469 с.
14. **Хоблер Т.** Теплопередача и теплообменники / **Хоблер Т.** - М.: Госхимиздат, 1961. - 820 с.
15. **Суртаєв В. В.** Алгоритм определения параметров систем утилизации теплоты мокрого тушения кокса / **Суртаєв В. В.** // Системні технології : Регіональний міжвузівський зб. наук. пр. - Випуск 1(54).-Дніпропетровськ, 2008.- С.126-134.
16. Технологии охраны окружающей среды : каталог / фирма «Haldor Topse A/S» (Дания). – 2000. – 26 с.
17. **Шлихтинг Г.** Теория пограничного слоя / **Шлихтинг Г.** - М.: Наука, 1969.- 742 с.
18. **Суртаєв В.В., Кривенко О.Ю.** Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Екологія теплоенергетики» для студентів спеціальності 7.05060101, 8.05060101 – Теплоенергетика усіх форм навчання /Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2016, 37 с., Р № 19.
19. **Васильев Г. П., Хрустачев Л. В., Розин А. Г., Абуев И. М. и др.** Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии // Правительство Москвы Москомархитектура, ГУП «НИИЦ», 2001
20. <http://www.wseas.us/elibrary/conferences/2007/portoroz/papers/555-237.pdf>
21. [Energy Savers: Types of Geothermal Heat Pump Systems](http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=114)
22. http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=114, Данные по Финляндии
23. http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=114, Водоём – обогреватель.
24. <http://ru.wikipedia.org/wiki>
25. Уголь Украины, - 1997,- №10,- с. 40-41.
26. www.progress21.com.ua
27. **Суртаєв В. В.** Перспективные направления обеспечения экологической безопасности установок утилизации теплоты мокрого тушения кокса / **В. В. Суртаєв** // Энергетика: экономика, технологии, экология / НТУУ КПИ.- №1.-2004.-С.77-81

УДК 338.322.01

А.А. ТУРИЛО, д-р екон. наук, проф., С.А. РТИЩЕВ, канд.екон. наук, доц.
Криворізький національний університет

СУТНІСТЬ КАТЕГОРІЇ «ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК»

Метою даної статті є розкриття сутності категорії «економічний розвиток» і визначення особливостей оцінки механізму економічного розвитку підприємств.

Методи дослідження. Авторами роботи представлено науково-логічний підхід щодо визначення сутності категорії «економічний розвиток».

Наукова новизна. Дослідження та оцінка економічного розвитку підприємства займає важливе місце серед питань сучасної економічної науки і практики. Незважаючи на великий інтерес до цього напрямку дослідження у вітчизняних та зарубіжних науковців, на даний момент багато питань залишаються дискусійними. Тому детальний аналіз та запропонована класифікація підприємства за видами економічного розвитку є актуальною. Усі типи економічного розвитку тісно пов'язані між собою (як прямими так і зворотними зв'язками). Так економічний розвиток регіону або галузі залежить від рівня економічного розвитку підприємств, які розташовані на території даного регіону або відносяться до відповідної галузі. Сукупний економічний розвиток регіонів, так само як і економічний розвиток усіх галузей народного господарства, забезпечує економічний розвиток країни, який в свою чергу є внеском у загальний світовий економічний розвиток. Також існує і зворотній зв'язок між наведеними видами економічного розвитку.

Практична значимість. На підставі аналізу існуючих методів оцінки ефективності економічного розвитку різних видів підприємств, було розроблено уніфіковану класифікацію підприємств та запропоновано власну методику оцінки ефективності їх економічного розвитку. Кожен тип економічного розвитку характеризує направлену, закономірну зміну певного об'єкту і повинен мати власну систему показників та критеріїв, які б найбільш точно характеризували ефективність даного процесу. Зв'язок між ними такий, що в основі показників економічного розвитку країни, регіону або галузі повинні лежати показники економічного розвитку підприємства.

Найважливіша методологічна відмінність термінів «економічний розвиток підприємства», «економічний розвиток регіону», «економічний розвиток галузі» та «економічний розвиток країни» полягає в тому, що, якщо окреме підприємство може функціонувати зі збитком, може збанкрутувати і взагалі бути ліквідованим, то регіон, як сукупність усіх суб'єктів господарювання, зосереджених на певній території (а це не тільки підприємства) і тим паче країна, не можуть бути ліквідованими.

Результати. У даній статті досліджено сутність категорії «економічний розвиток» і розглянуто особливості економічного розвитку підприємств.

Ключові слова: економічний розвиток, ефективність, економічне зростання.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-85-90

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Термін «економічний розвиток підприємства» (або просто «розвиток підприємства», «розвиток виробництва» тощо) є одним із найбільш розповсюджених інструментів при дослідженні економічної природи підприємства, а також при визначенні і оцінці тактики і стратегії його економічного життя. Разом з тим, не дивлячись на його постійну затребуваність, фундаментальність і популярність в економічній літературі, він до теперішнього часу не отримав належного свого розкриття.

Аналіз досліджень і публікацій. Статистика, факти й історичні аргументи вказують, що в своєму розвитку підприємства різних галузей і країн світу на протязі свого життєвого циклу проходять різні етапи за економічними ознаками: від прибуткового до збиткового, від процвітання до кризи і ліквідації. Всі ці етапи є невід'ємними складовими економічного розвитку підприємства, однак для кожного конкретного підприємства ці етапи за складом, змістом і часом здійснення є різними.

Постановка задачі. Загальновідомо, що будь-який розвиток потрібно досліджувати з діалектичних позицій. Приклад цивілізації показує, і це науково обґрунтовано, що її розвиток є прогресивним і здійснюється у певній мірі за спіраллю. З цього приводу ми представимо своє бачення стосовно сутності даного терміну.

Викладення матеріалу та результати. На сьогоднішній день економічну науку і практику неможливо представити без такого терміну як «економічний розвиток». Даний термін згідно з метою і об'єктом дослідження трансформується у різні його підвиди: «світовий економічний розвиток», «економічний розвиток країни», «економічний розвиток регіону», «економічний розвиток галузі», «економічний розвиток підприємства (фірми, корпорації)» тощо.

П. Самуельсон, один із класиків ринкової економіки, досліджуючи проблеми економічного зростання і розвитку трактує економічний розвиток саме з позицій діалектики і спірального поступового руху. Відносно макроекономіки, розглядаючи країни третього світу, він відмічає, що будь-яка країна є недостатньо розвинутою у тому сенсі, що вона ще не досягла своєї досконалості, а тому може далі розвиватись [4]. Тому термін «економічний розвиток підприємства» теж базується на принципі прогресивності і в узагальненому виді трактується нами як тенденція до економічного зростання підприємства на ефективній базі, коли збільшується його загальний техніко-економічний рівень. Тобто стрижнем, «програмою» економічного розвитку є саме економічне зростання підприємства. Однак поняття «економічне зростання підприємства» не є тотожним поняттю «економічний розвиток підприємства». Категорія «економічний розвиток підприємства» настільки ємна і багатогранна, що включає в себе різні прояви такого розвитку, у тому числі і економічне зростання і характеризує всю гамму змін, які відбуваються на підприємстві у просторі та часі. На ці зміни впливають як зовнішні, так і внутрішні чинники.

Всі економічні закони в своїй дії прямо або опосередковано впливають на розвиток і проявляються в розвитку підприємства (в різних формах, силі і напрямку впливу). В залежності від ефективності і адаптації конкретних форм і методів господарювання, на тому чи іншому підприємстві, до дії цих законів і залежить зміст і рівень його економічного розвитку.

Все вищевикладене дозволяє нам трактувати термін «економічний розвиток підприємства» наступним чином:

економічний розвиток підприємства – це економічна складова життєдіяльності підприємства у всіх її формах і проявах на протязі його життєвого циклу, яка здійснюється під впливом екзогенних і ендогенних чинників і зорієнтована на досягнення поставленої власником (власниками) мети;

економічний розвиток підприємства – це діалектичний процес сукупності змін, які відбуваються в системі підприємства, а саме в засобах виробництва і соціально-економічних відносинах, і обумовлюють рівень і динаміку всіх його економічних показників;

економічний розвиток підприємства (в спрощеному викладенні) – це процес зміни економічного стану підприємства на протязі його життєвого циклу.

В економічній літературі при характеристиці підприємства поряд з поняттям «економічний розвиток підприємства» широко використовується і поняття «життєвий цикл підприємства». Вважаємо, що це доволі близькі, але одночасно і різні речі. Поняття «економічний розвиток підприємства» є більш предметним і значимим по відношенню до життєвого циклу підприємства, бо несе в собі економічну сутність і за своїм змістом визначає структуру і тривалість даного циклу. Останнє твердження є дуже важливим чинником в характеристиці відмінностей даних термінів.

Взагалі, якщо взяти більш широкий термін, а саме «розвиток підприємства» то він є певним відображенням за формою і змістом того чи іншого його загального життєвого процесу.

Розвиток підприємства може бути різним: «технічний розвиток підприємства», «організаційний розвиток підприємства», «інноваційний розвиток підприємства», «економічний розвиток підприємства», «соціальний розвиток підприємства» тощо. В умовах ринкової економіки пріоритетним є економічний розвиток підприємства, бо саме в ньому відображається мета підприємства і саме він є джерелом його існування і відтворення.

Тривалість життєвого циклу підприємства залежить, при інших рівних умовах, від рівня і якості економічного розвитку підприємства, а по своїй величині дорівнює циклу економічного розвитку підприємства.

Таким чином, життєвий цикл підприємства (виходячи зі слова «цикл») – це перш за все межі життєдіяльності підприємства в часі, а розвиток підприємства – це діалектичний процес руху підприємства як системи, що діє і змінюється під впливом внутрішнього і зовнішнього середовища, а його економічна складова (економічний розвиток) є визначальною в ринковій економіці щодо тривалості життєвого циклу підприємства і забезпечення поставлених перед ним завдань.

Потрібно відмітити також і те, що в багатьох випадках поняття «економічний розвиток підприємства» ототожнюють з такими термінами як «діяльність підприємства» («економічна діяльність підприємства»), «функціонування підприємства» («економічне функціонування підприємства») і «робота підприємства» («економічна робота підприємства»).

Однак, на наш погляд, між цими термінами все ж таки є певна відмінність. Більш ємною (змістовною), системною і узагальненою серед них виступає категорія «економічний розвиток підприємства». Пояснюється це наступним. Термін «діяльність підприємства» («економічна діяльність підприємства») походить від кореневого слова «дія» і характеризує сукупність саме дій, тобто в даному терміні акцент робиться на діях (заходах) пов'язаних з досягненням тієї чи іншої поставленої перед підприємством задачі. Термін «економічна діяльність підприємства», на наш погляд, є конкретною формою відображення економічного розвитку підприємства і характеризує його в короткострокових періодах, коли досліджується поточний економічний стан підприємства, а якщо оцінюється перспектива підприємства, то вона визначається переважно терміном «стратегія економічного розвитку підприємства». Нераціональність і неузгодженість дій призводять до негативних наслідків в діяльності підприємства і зокрема до зростання витрат на виробництво.

Аналогічно можна відмітити і по терміну «функціонування підприємства» («економічне функціонування підприємства»), де кореневим словом є «функція» і який характеризує безпосередньо виконання підприємством сукупності функцій, які теж пов'язані, в першу чергу, з поточним періодом і виступають ключовим засобом забезпечення ефективного його розвитку. Порушення вимог до кількості, структури і якості функцій підприємства викликає серйозні розбалансування в досягненні поставлених перед ним поточних завдань. Економічне функціонування підприємства, як різновид загального його функціонування, характеризує сукупність економічних функцій і відноситься до поточних періодів.

Термін «робота підприємства», на наш погляд, є тотожним поняттю «діяльність підприємства».

Таким чином, терміни «економічна діяльність підприємства» і «економічне функціонування підприємства», у відповідності за своєю сутністю і специфікою характеризують певні сторони загального для них економічного розвитку підприємства.

Про те, що економічний розвиток (ЕР), економічна діяльність (ЕД) і економічне функціонування (ЕФ) це різні за змістом терміни, свідчить також те, що по відношенню до народного господарства в цілому (чи економіки країни) використовується термін «економічний розвиток». В більшості випадків це стосується і окремих галузей народного господарства країни. Такий підхід до класифікації і співвідношення термінів, що розглянуті вище, представлено на рис. 1.

З теоретико-методичних підходів, на наш погляд, оцінювати економічний розвиток будь-якого об'єкту, у тому числі підприємства, потрібно в межах певних етапів (періодів, проміжків часу) та за специфічними критеріями і показниками. Конкретний вираз проміжку часу (періоду), критеріїв і показників економічного розвитку визначається обранням об'єктом (народне господарство, галузь, підприємство тощо) та поставленою метою дослідження.

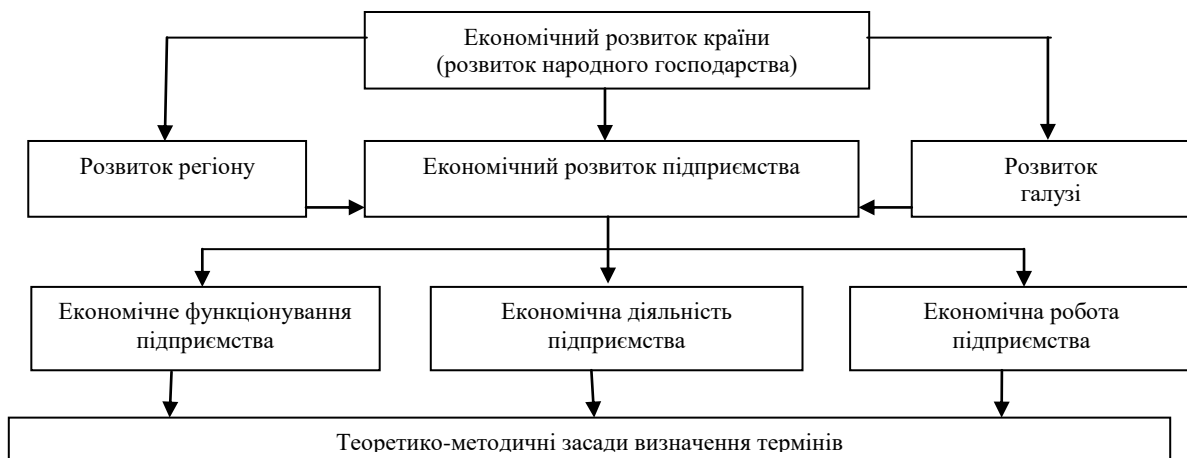


Рис.1. Теоретико-методичні підходи до оцінки і розкриття сутності поняття «економічний розвиток підприємства»

Економічний розвиток підприємства, як дуже складна і у той же час затребувана категорія, потребує своєї системної класифікації. Важливими у формуванні такої класифікації є критерії, які дозволяють поділити економічний розвиток підприємства на різні види (типи). До таких критеріїв можна віднести наступні:

Оцінка економічного розвитку підприємства по результату: обсяг реалізованої продукції; прибуток; власний капітал; ринкова вартість підприємства.

Оцінка економічного розвитку підприємства по економічній ефективності: рентабельність власного капіталу; рентабельність активів; інтегральна ефективність підприємства.

Оцінка економічного розвитку підприємства по конкурентоспроможності підприємства.

Оцінка економічного розвитку підприємства по поставленій меті.

Потрібно відмітити, що відмінною рисою економічного розвитку, безвідносно до об'єкту дослідження, є його динаміка (зміна у часі). Тому оцінка економічного розвитку повинна здійснюватись через динамічні показники, у тому числі через індексні і приростні показники.

В основу такої динаміки покладено оцінку: 1) по результату: I_{Q_p} , I_{Π} , $I_{ВК}$, $I_{РВП}$, ΔQ_p , $\Delta \Pi$, $\Delta ВК$, $\Delta РВП$; 2) по ефективності: I_R , $I_{I.Eф.П}$, ΔR , $\Delta I.Eф.П$; 3) по конкурентоспроможності: $I_{П.кон.}$, $\Delta П.кон.$; 4) по поставленій меті: оцінка виконання поставленої мети в часі.

Де I_{Q_p} , I_{Π} , $I_{ВК}$, $I_{РВП}$, I_R , $I_{I.Eф.П}$, $I_{П.кон.}$ – індекси відповідно показників обсягу реалізованої продукції, прибутку, власного капіталу, ринкової вартості підприємства, рентабельності, інтегральної ефективності і конкурентоспроможності підприємства; ΔQ_p , $\Delta \Pi$, $\Delta ВК$, $\Delta РВП$, ΔR , $\Delta I.Eф.П$, $\Delta П.кон.$ – величини приростів показників обсягу реалізованої продукції, прибутку, власного капіталу, ринкової вартості підприємства, рентабельності, інтегральної ефективності і конкурентоспроможності підприємства.

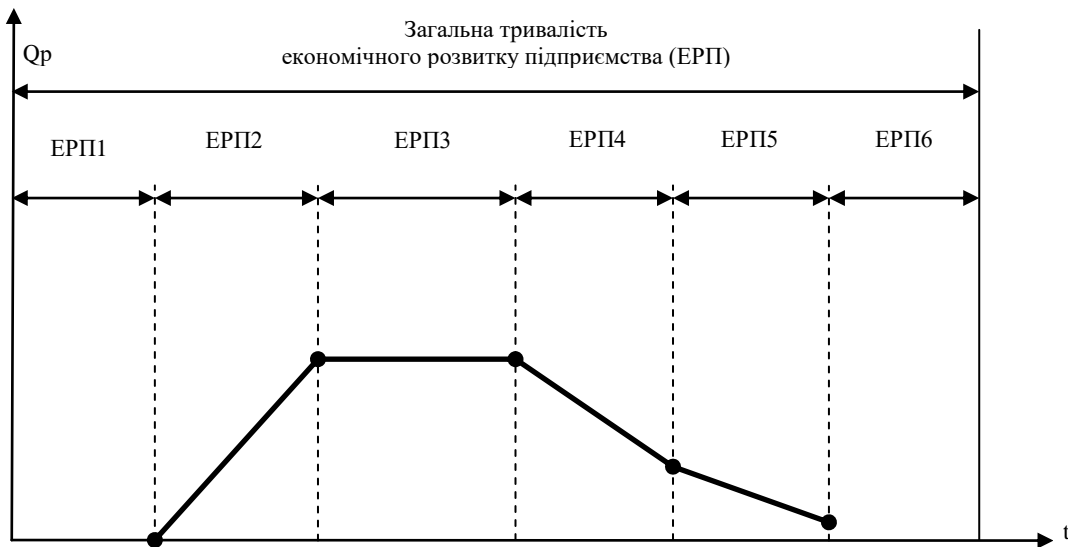
На рисунках 2-4 представлено основні види економічного розвитку підприємства (ЕРП) за критеріями динаміки результату (динаміки обсягу реалізованої продукції, Q_p ; прибутку, Π ; вла-

сного капіталу, ВК; ринкової вартості підприємства, РВП) і динаміки економічної ефективності (рентабельності, R ; збитковості, 36).

Послідовність, тривалість і рівень ЕРП по видах на рисунках 2-4 визначаються реальними умовами господарювання.

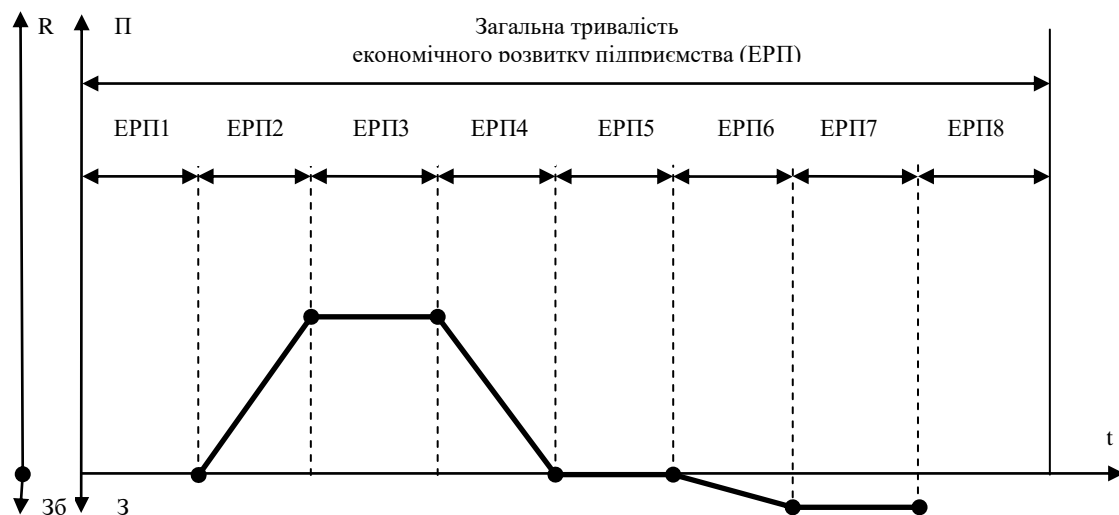
Викладений матеріал дозволяє зробити певний висновок щодо співвідношення таких важливих термінів як «економічний розвиток підприємства» і «економічне зростання підприємства». Економічне зростання, з одного боку, виступає складовою економічного розвитку, а з іншого боку – є головним, пріоритетним його напрямком.

Висновки та напрямок подальших досліджень. У даній роботі представлено авторське бачення і розуміння сутності економічного розвитку на підприємстві. Таким чином, представлені в даній статті результати дозволяють більш системно і обґрунтовано підходити до оцінки і розкриття сутності економічного розвитку підприємства.



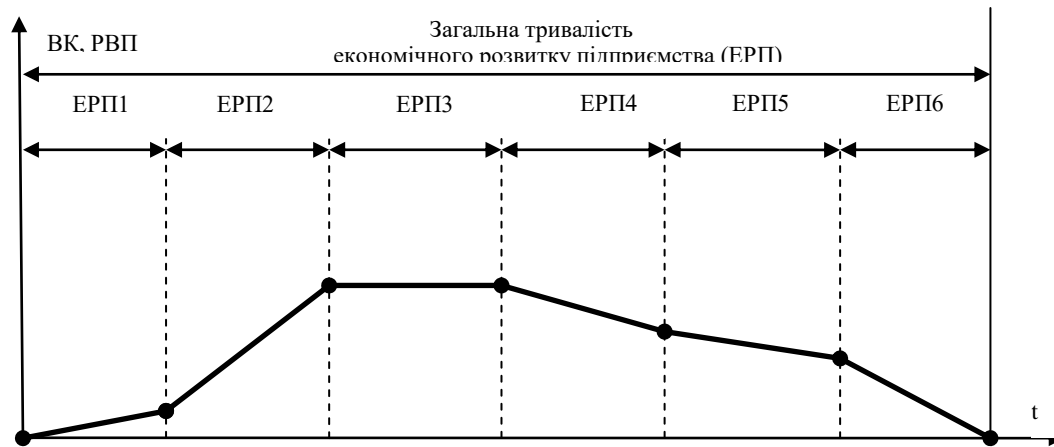
де ЕРП₁, ЕРП₂, ЕРП₃, ЕРП₄, ЕРП₅, ЕРП₆ – види економічного розвитку, що характеризують відповідно періоди утворення, зростання, стабільності, падіння, кризи (банкрутства) і ліквідації підприємства.

Рис. 2. Основні види економічного розвитку підприємства за критерієм динаміки обсягу реалізованої продукції



де ЕРП₁, ЕРП₂, ЕРП₃, ЕРП₄, ЕРП₅, ЕРП₆, ЕРП₇, ЕРП₈, – види економічного розвитку, що характеризують відповідно періоди утворення, зростання, стабільності, падіння, беззбитковості, збитковості, кризи (банкрутства) та ліквідації підприємства.

Рис. 3. Основні види економічного розвитку підприємства за критеріями динаміки прибутку (збитку) і динаміки рентабельності (збитковості)



де ЕРП₁, ЕРП₂, ЕРП₃, ЕРП₄, ЕРП₅, ЕРП₆ – види економічного розвитку, що характеризують відповідно періоди утворення, зростання, стабільності, падіння, кризи (банкрутства) і ліквідації підприємства.

Рис. 4. Основні види економічного розвитку підприємства за критеріями динаміки власного капіталу і ринкової вартості підприємства

Список літератури

1. Поддєрьогін А.М. Фінанси підприємств : підручник. К. : КНЕУ, 2013. – 460 с.
2. Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 16 «Витрати» : затверджено Наказом Міністерства фінансів України від 31 грудня 1999 р. № 318, зі змінами та доповненнями [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0027-00>.
3. Прохар Н.В., Ночовна Ю.О. Облік доходів, витрат і фінансових результатів: проблеми теорії та практики : монографія. Полтава : РВВ ПУЕТ, 2011. 257 с.
4. Самуельсон П. Економіка: Т. 1,2 / Самуельсон П. - М.: НПО «Алгон», 1992.- 414с.
5. Сорока С. Сутність витрат: історичний аспект. Економічний аналіз. 2010. Вип. 6. С. 152–154.
6. Турило А.М., Кравчук Ю.Б., Турило А.А. Управління витратами підприємства : навчальний посібник. К. : Центр навчальної літератури, 2006. 120 с.
7. Турило А.А., Турило А.М. Оцінка результативності, ефективності, продуктивності, збитковості підприємства : монографія. Кривий Ріг: Етюд-Сервіс, 2009. 196 с.
8. Трухан О.Л. Розвиток теорії витрат: еволюція і сучасні тенденції. Вісник ЖДТУ. 2003. № 4. С. 380–388.
9. Цал-Цалко Ю.С. Витрати підприємства: навчальний посібник. К. : ЦУЛ, 2002. 656 с.
10. Циган Р.М., Савченко О.С. Проблеми формування прибутку підприємства в бухгалтерському обліку. Облік і фінанси АПК. 2011. № 2. С. 36–39.
11. Чернишова Л.І., Дженкова А.С. Особливості формування системи управління витратами вітчизняних підприємств. Інноваційна економіка. 2014. № 3 (52). С. 61–68.
12. Шаповалова Т.Ю., Фесенко Н.В. Аналіз сутності деяких категорій інвестиційної діяльності. Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»: зб. наук. праць Харків: НТУ «ХПІ». 2011. № 26. С. 156-164

УДК 004.78

А.О. ХРУЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., Ю.Г. ГОРБАЧОВ, канд. техн. наук, проф.,
В.А. ГРОМАДСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., Вікт.А. ГРОМАДСЬКИЙ, канд. техн. наук,
Ю.І. ЧУМАК, ст. викл., Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ВІРТУАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ З ГАЛУЗЕВОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Мета. Дослідження шляхів реалізації лабораторних занять у віртуальних освітніх середовищах для студентів технічних спеціальностей на основі узагальнення досвіду використання віртуальних лабораторних стендів, комплексів, наочних приладів та посібників, що максимально відтворюють обладнання галузі.

Методи дослідження. У роботі використано аналіз та узагальнення досвіду відомих досліджень та розробок з впровадження електронної форми навчання, зокрема реалізації віртуальних лабораторних робіт.

Наукова новизна. Розглянуто можливості застосування у навчальному процесі віртуальних лабораторних стендів, особливості їх реалізації, основні переваги та недоліки. Виокремлено наступні групи віртуальних стендів: для вивчення програмних продуктів; для вивчення конструкції реальних машин та їх вузлів; для дослідження окре-

мих робочих процесів; симулятори роботи машин, обладнання та установок. Визначено сильні та слабкі сторони кожної групи стендів.

Практична новизна. Дано визначення віртуальної лабораторної роботи та наведено загальну схему її проведення. Встановлено, що визначені групи віртуальних стендів у тій чи іншій мірі можуть бути застосовані при навчанні інженерів-механіків з використанням сучасних освітніх веб-порталів для дистанційного навчання.

Результати. У результаті проведеного дослідження встановлено, що використання віртуальних лабораторних стендів при підготовці інженерів-механіків сприятиме зростанню ефективності освітнього процесу завдяки забезпеченню активізації отриманих знань при самостійному виконанні дослідження, підвищенню їх мотивації та зацікавленості при засвоєнні нового матеріалу, набуття здобувачами навичок роботи з виробничим обладнанням при використанні автоматизованого робочого місця оператора. Віртуальні стенди можуть бути з успіхом використані як для очної, так і для заочної форм навчання, зокрема і у дистанційному форматі. Надалі планується розробка методики створення віртуального лабораторного стенду для навчального компоненту на базі компетентностей та програмних результатів освітньої та робочої програм.

Ключові слова: лабораторні роботи, віртуальний лабораторний стенд, ефективність освітнього процесу, віртуальний тренажер, самостійне навчання, дистанційне навчання.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-90-96

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Основним напрямом діяльності сучасного закладу вищої освіти технічного спрямування є розвиток теоретичних і практичних навичок у здобувачів, що сприятимуть забезпеченню сфери виробничої діяльності кваліфікованими фахівцями. Підготовка інженерів неможлива без організації і проведення лабораторних практикумів, які є базовим компонентом процесу навчання технічних спеціалістів.

Основною тенденцією розвитку навчального процесу закладів вищої освіти є скорочення кількості аудиторних годин з одночасним збільшенням годин самостійної роботи студентів. Причому, як зазначають самі автори, відбувається перетворення ролі викладача з основного джерела інформації на організатора та контролюючу особу самостійної роботи студентів. Відповідно така зміна потребує застосування більш ефективних засобів навчання [11].

Особливої уваги під час впровадження електронного навчання з технічних дисциплін заслуговує саме організація лабораторного практикуму, який є запорукою набуття здобувачами вищої освіти практичних навичок [11].

При виконанні лабораторних робіт перед здобувачами вищої освіти ставляться завдання навчально-дослідного характеру, які передбачають використання спеціалізованих лабораторних стендів та мають на меті перш за все допомогу в засвоєнні теоретичного матеріалу, подальше прищеплення навичок експериментальних досліджень і обробки отриманих результатів і, нарешті, формування практичних умінь і навичок роботи з реальними приладами, установками і обладнанням [11].

Разом з невід'ємними перевагами традиційного лабораторного практикуму, такими як висока наочність процесів, засвоєння техніки безпеки і вміння працювати з обладнанням, використання у навчанні більшості видів почуттів, відома низка недоліків [3, 4, 9]:

організаційний і часовий розрив між етапом підготовки до виконання лабораторної роботи і етапами виконання і контролю;

в наслідок слабого розвитку у студентів вміння роботи з літературою, нестачі часу і в силу ряду інших чинників більшість студентів приходять на лабораторний практикум непідготовленими, що негативно позначається і на ефективності виконання основних етапів лабораторної роботи;

проведення колективних занять за узгодженим графіком, а через те - обмежений доступ студентів до лабораторного устаткування;

при виконанні лабораторної роботи непідготовлений студент може отримати часткові експериментальні результати, не зрозумівши загальну картину досліджуваного фізичного явища, що призводить до низької ефективності використання навчального часу і самого процесу навчання;

лабораторна база вимагає постійного технічного обслуговування спеціальним персоналом внаслідок фізичного і морального застарівання та, за можливості, удосконалення, що призводить до додаткових фінансових витрат;

висока вартість лабораторного обладнання не дозволяє в короткі терміни розширити лабораторну базу і забезпечити гнучкість у навчанні;

неможливість дослідження екстремальних і аварійних режимів;
 можливість псування коштовного обладнання непідготованими здобувачами вищої освіти;
 можливість травмування здобувачів вищої освіти при виконанні лабораторних робіт;
 застосування традиційного лабораторного практикуму не представляється можливим при дистанційній формі навчання.

Окремо слід зауважити, що при підготовці інженерів-механіків з проектування, виготовлення та експлуатації механічного обладнання різних галузей, саме промислове обладнання, що є предметом вивчення, може бути великогабаритним (наприклад гірничі машини, такі як буровий верстат СБШ-250 або барабанний кульовий млин) і не можуть бути розміщені у лабораторії. Як зауважують дослідники [2, 10, 12, 13], традиційна методика проведення лабораторних робіт, незважаючи на свої переваги, в силу притаманних організаційно-методичних, техніко-економічних недоліків та обмеженості застосування робить її малоефективною для подальшого використання.

Аналіз досліджень і публікацій. Альтернативною формою проведення очних лабораторних занять вважаються віртуальні лабораторні роботи [1-13].

Віртуальна лабораторна робота – це інформаційна система, що інтерактивно моделює реальний технічний об'єкт і його істотні для вивчення властивості із застосуванням засобів комп'ютерної візуалізації без використання інших технічних засобів навчання, крім самого комп'ютера (планшета, смартфон) [4, 9].

Але попри наведене визначення, як зазначено у роботі [7], на сьогодні не існує єдиного визначення поняття «віртуальна лабораторія», різні вчені по-різному трактують дане поняття, а також дають різні назви цим засобам: віртуальні лабораторії, віртуальні лабораторні стенди, віртуальні лабораторні засоби та ін. Наприклад дослідники наводять такі визначення:

програмно-апаратний комплекс, що дозволяє проводити досліди без безпосереднього контакту з реальною установкою або при повній її відсутності;

комп'ютерна програма для дослідження процесів та явищ;

педагогічний програмний засіб для імітації виконання лабораторних робіт в лабораторії.

З дидактичної точки зору віртуальну лабораторну роботу розглядають як форму, метод і засіб навчання, в процесі проведення якої студенти проводять певні досліди, використовуючи при цьому лише образи, що мають зовнішній вигляд і функції реальних предметів.

Проведення віртуальних лабораторних робіт, які є сучасними навчальними посібниками і засновані на комп'ютерному моделюванні реальних процесів, забезпечує якість підготовки, прискорює процес освоєння досліджуваного матеріалу. Основою віртуальних лабораторних стендів, що є аналогами реальних лабораторних установок, служать математичні моделі імітованих процесів. Таке моделювання забезпечує наочність досліджуваних процесів і дозволяє провести їх аналіз в необмеженому діапазоні умов [5].

Як зазначає автор [1], віртуальні стенди дозволяють кожному здобувачу вищої освіти моделювати виробничі процеси, а викладачам - контролювати засвоєння їх знань. При цьому зменшуються витрати часу на проведення лабораторних робіт, що пов'язано з використанням комп'ютерних ефектів. Автор особливо наголошує на економії фінансових ресурсів, пов'язаних з придбанням та експлуатацією реального лабораторного обладнання порівняно з віртуальним.

Основні переваги віртуальних лабораторних робіт [3-5, 11]:

можливість багаторазового повторення експерименту при різних початкових умовах;

значно зменшується ризик неправильної експлуатації і порушень правил техніки безпеки при роботі з реальними установками;

можливість досліджувати динаміку процесу в реальному і уповільненому масштабі часу, допомагають побачити фізичні закономірності процесів, що відбуваються;

можливість отримати більш точні результати, ніж при проведенні реального експерименту;

дозволяють викладачеві можливість одночасно працювати зі студентами всієї групи;

Однак, при всій привабливості та безсумнівній дидактичній вигоді комп'ютерного експерименту в навчанні, залишаються невирішеними декілька проблем.

Перша з них: сприйняття інформації студентами істотно відрізняється від того, як це відбувається при виконанні традиційної лабораторної роботи внаслідок відсутності безпосереднього контакту здобувачів з об'єктами вивчення та приладами. Без цього етапу сприйняття не може бути повноцінним. Отже, неповноцінним може виявитися і викладання відповідної дисципліни [7, 9].

Надалі виникає проблема отримання політехнічних навичок роботи з реальними приладами і установками. Дуже важлива і все ще мало досліджена проблема формування адекватного уявлення про світ при роботі з нереальними об'єктами. Частково цю проблему можна вирішити, використовуючи у процесі навчання програмні продукти, що максимально точно відображають процеси і явища, що відбуваються в реальному світі [7, 9].

Основним напрямом розробки віртуальних лабораторних стендів автори вважають детальне відтворення зовнішнього вигляду та елементів керування реальної лабораторної установки і реалізації математичної моделі, що описує залежності між вхідними та вихідними величинами. Це робить такий віртуальний стенд за своїми метрологічними характеристиками аналогічним до реального приладу. Для більш реалістичного відтворення роботи реальних лабораторних стендів, їх математичні моделі додатково відтворюють інерційність та вплив сторонніх факторів [11].

Як зазначають автори [11], дистанційні лабораторні стенди такого типу оптимально реалізовувати за допомогою web-програмування (за допомогою мов програмування JS, php, java, python, тощо), яке забезпечує виконання лабораторних робіт у браузері на комп'ютері, ноутбуці, планшеті або смартфоні без встановлення додаткового програмного забезпечення.

Переважає більшість розглянутих навчально-методичних розробок віртуальних лабораторій стосуються електротехнічної галузі, електроніки та автоматизації. Доробок для студентів-механіків дуже мало.

Постановка задачі. Метою статті є аналіз шляхів реалізації лабораторних занять у віртуальних освітніх середовищах для студентів-механіків на основі узагальнення досвіду використання віртуальних лабораторних стендів, комплексів, наочних приладь та посібників, що максимально відтворюють обладнання галузі.

Викладення матеріалу та результати досліджень. У результаті проведеного аналізу відомих досліджень та публікацій можна виокремити наступні групи віртуальних стендів за характером об'єктів для вивчення:

- для вивчення програмних продуктів;
 - для вивчення конструкції реальних машин та їх вузлів;
 - для дослідження окремих робочих процесів;
 - симулятори роботи машин, обладнання та установок.
- Розглянемо ці групи віртуальних стендів.

Першою групою, яку розглянемо, є віртуальні стенди для вивчення програмних продуктів.

Серед відомих засобів для розробки електронних курсів виокремимо потужний пакет Adobe Captivate, який має, серед інших, особливий вид проектів Software Simulation, що використовується для імітації роботи програмного забезпечення. При цьому з екрану записується не відео роботи користувача, а саме його послідовність дій. Adobe Captivate фіксує скріншоти після кожного кліку миші та розбиває їх на окремі слайди, Додатково запминаються і точки кліка миші та набір символів на клавіатурі [14].

Проект Software Simulation має три режими: demo, assessment і training [14].

Режим demo призначений для демонстрації роботи програмного забезпечення з коментаріями, при якій користувач не зобов'язаний виконувати будь-які дії [14].

Режим assessment призначений для перевірки знань користувача про роботу програмного забезпечення, що вивчається. При цьому система інформує користувача лише про те, що крок було виконано неправильно [14].

Режим training призначений для інтерактивного навчання користувача роботі з програмним забезпеченням через покрокове виконання заданих дій з вказівками на кожному кроці [14].

Загалом це дуже зручний і потужний інструмент для навчання інженерів-механіків роботі у сучасних САПР-системах, а самі матеріали у вигляді курсів, тренінгів та тестів можуть бути розміщені на веб-сторінці освітнього порталу для дистанційного навчання або як додатковий інструменти звичайного очного навчання.

Наступною групою є віртуальні стенди для вивчення конструкції реальних машин та їх вузлів, які базуються на можливостях розміщувати на Web-сторінках 3D моделей вузлів та деталей машин.

На сьогодні відомо багато варіантів розташування тривимірних моделей на веб-сторінках сайтів, але тільки eDrawings дає змогу не тільки розглядати модель, а і розрізати її перерізами у різних площинах, розбирати складання на окремі деталі, робити заміри та ін. Усе це робить

його назамінним та дуже потужним інструментом наочності при вивчення будови та принципу дії великогабаритних машин і обладнання та їх окремих вузлів [16].

Слід зазначити, що при розташування моделі на веб-сторінках недоступні деякі корисні можливості eDrawings, але він має можливість створювати виконуваний файли, що можуть бути розміщені на сторінці сайту та, при скачуванні, надати користувачеві повний інструментарій [16].

Як обмеження при застосуванні eDrawings слід відмітити потребу відповідності певним вимогам, що може привести до проблем з відображенням моделей для користувачів, що користуються планшетами та смартфонами. Також створювані файли можуть працювати тільки у системі Windows [16].

Група віртуальних стендів для дослідження окремих робочих процесів найкраще підходить для застосування в освітньому процесі для здобувачів другого (магістерського) та третього (доктор філософії) освітніх рівнів, оскільки включає у себе використання самими здобувачами наукових методів.

У роботі [3] наведено деталізовану схему проведення лабораторної роботи у віртуальній навчальній лабораторії (рис. 1), яку можна прийняти за основу при розробці віртуальних стендів, що моделюють реальні процеси.

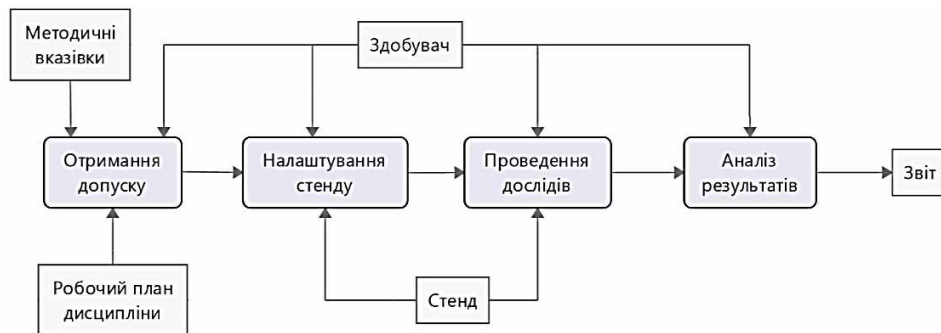


Рис 1. Схема проведення лабораторної роботи у віртуальній навчальній лабораторії [3]

Розглянемо працю [5], у якій наведено досвід реалізації віртуальної лабораторної установки для вивчення дисциплін «Термодинаміка», «Теплотехніка», «Тепломасообмін» (рис 2).

Сама віртуальна лабораторна установка містить математичну модель, що описує робочі процеси, та візуальні компоненти такі як елементи управління стендом, зв'язки між елементами установки, стан лабораторної установки з візуальними ефектами випаровування, кипіння, горіння та ін. [5].

Хід виконання робіт на такому стенді передбачає наступні кроки [5]:

на початку заняття викладач надає здобувачам теоретичну довідку, методичні вказівки та початкові параметри;

здобувачі вивчають отриману теоретичну довідку та виконують лабораторну роботу за методичними вказівками;

під час виконання роботи викладач може втрутитися в роботу окремого здобуча, а саме: задати кожному здобувачеві окремі параметри для проведення дослідів, переглянути параметри дослідів, зупинити або перезапустити процес;

здобувачі формують звіти з виконаної роботи.

Слід відзначити, що наведений віртуальний лабораторний стенд може бути використаний як під час очної, так і при дистанційній формах навчання.

Перший досвід використання віртуальних лабораторних стендів було отримано авторами даної статті при викладанні дисципліни «Методи планування та проведення наукових досліджень гірничого устаткування» для здобувачів третього освітньо-наукового рівня.

Стенди являють собою прості математичні лінійні та нелінійні моделі досліджуваних процесів, написані на JavaScript у вигляді мінімалістичних веб-додатків, розташованих на Освітньому порталі, що працює на базі системи дистанційного навчання Moodle (рис. 3).

Позитивний досвід роботи з такими стендами та схвальні відгуки від самих здобувачів підштовхнули до подальшого розвитку та впровадження подібних віртуальних стендів.



Рис 2. Віртуальний лабораторний стенд до лабораторної роботи з дисципліни «Термодинаміка» [5]



Рис 3. Віртуальний лабораторний стенд до лабораторної роботи з дисципліни «Методи планування та проведення наукових досліджень гірничого устаткування»

Останньою групою, що була виокремлена нами, є група віртуальних симуляторів і тренажерів роботи машин, обладнання та установок. Вони призначені для початкового навчання, вдосконалення або корекції навичок управління операторів машин, оптимізації та зменшення енерго- та ресурсозатрат при обслуговуванні та експлуатації машин шляхом формування практичних умінь, навичок моніторингу, налаштування та діагностики систем операторами машин.

Як приклад такої системи розглянемо симулятори фірми CYBERMINE, яка пропонує широкий спектр симуляторів бурових установок для підземних робіт на базі обладнання світових виробників, таких як Atlas Copco та Sandvik [15].

Симулятор бурової установки переносить машиніста у реалістичне віртуальне тривимірне середовище підземної копальні. Кабіна бурової установки відтворена з високою точністю, всі прилади та органи управління бурінням та рухом правильно розташовані навколо робочого місця машиніста [15].

Під час навчального циклу бурових робіт машиніст бурової установки виконує всі технологічні операції, які доводиться виконувати на реальній машині. Реалістична динаміка поведінки бурового модуля, гідравліки та взаємодія, що відповідає характеристикам порід (міцності порід, буримості та тріщинуватості), забезпечують високореалістичний досвід буріння, в якому можна точно визначити рівень безпеки та ефективності дій [15].

Навчальні модулі симулятора підземної бурової установки CYBERMINE також включають вправи на керування машиною, при виконанні яких машиніст повинен виявити необхідну обережність та вміння, щоб не допустити пошкоджень різних частин установки внаслідок зіткнень із ґрунтом, покрівлею та боками виробки [15].

Навчально-тренувальний комплекс підземної бурової установки CYBERMINE безперервно відстежує та записує дії машиніста, включаючи такі параметри, як показники точності буріння, дотримання вимог техніки безпеки, правильність техніки експлуатації обладнання та реакція на аварійні ситуації та відмови підсистем. Звіти за результатами навчання з подальшим розбором та коментарями інструктора є невід'ємною частиною системи підготовки та атестації машиністів підземних бурових установок [15].

Симулятор бурової установки CYBERMINE забезпечує високоефективне та результативне навчання без шкоди для продуктивності та ризику нещасних випадків навіть у найскладніших позаштатних ситуаціях, в яких може виявитися машиніст бурової установки [15].

Такі симулятори є дуже схожими на комп'ютерні ігри, що відтворюють процес управління технікою. Реалізація таких проектів в онлайн середовищі пов'язана зі складнощами розробки програмного продукту. Широке поширення мобільних браузерних ігор дає надію на можливість використання таких потужних симуляторів в дистанційному навчанні.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Встановлено, що використання віртуальних лабораторних стендів при підготовці інженерів-механіків сприятиме збільшенню ефективності освітнього процесу завдяки забезпеченню активізації отриманих знань при самостійному виконанні дослідження, підвищенню їх мотивації та зацікавленості при засвоєнні нового матеріалу, набуття здобувачами навичок роботи з виробничим обладнанням при з використанні автоматизованого робочого місця оператора. Віртуальні стенди можуть бути з успіхом використані як для очної, так і для заочної форм навчання, зокрема і у дистанційному форматі.

Виокремлені чотири групи віртуальних стендів за характером об'єктів, що вивчаються, та проаналізовано з точки зору можливості застосування їх в освітньому процесі з використан-

ням інтернет-технологій. Встановлено, що усі вони у тій чи іншій мірі можуть бути застосовані у навчанні інженерів-механіків з використанням сучасних освітніх веб-порталів для дистанційного навчання.

Надалі планується розробка методики створення віртуального стенду для навчального компоненту на базі ОПП та робочої програми з навчальної дисципліни.

Список літератури

1. **Абдуллаев А.Х.** Виртуальные лабораторные стенды и рекомендации по их использованию в непрерывном образовании // Образование через всю жизнь: становление и развитие непрерывного образования в рамках единого образовательного пространства евразийского экономического сообщества II Материалы докладов участников международной конференции (Санкт-Петербург, 22—23 июня 2004 г.) / Под науч. ред. Н. А. Лобанова и В. Н. Скворцова. — СПб.: Издательский дом «Петрополис», 2004. - С.3-7.
2. **Березюк О.В.** Використання віртуального лабораторного стенда для проведення лабораторної роботи «Дослідження ефективності освітлення у виробничих приміщеннях» // Педагогіка безпеки, 2017.- № 1.- С. 35-39.
3. **Бобрівник К.С., Гладка М.В., Кіктев М.О.** Проектування віртуальної навчальної лабораторії для студентів технічно-технологічних спеціальностей // Енергетика і автоматика, 2014.- №3.- С.18-23.
4. **Дубровин В.С.** Использование виртуальных лабораторных работ – как элемент повышения качества подготовки специалистов // High technologies in Earth space research, 2012.- № 2.- С.11-13.
5. **Меркулов В.И., Мухаметдинова Л.Д.** Виртуальные лабораторные работы по курсам «Термодинамика», «Теплотехника», «Тепломассообмен» // Известия МГТУ «МАМИ», 2014.- т.5.- № 1(19).- С. 180-185.
6. **Петрович С.Д.** Використання моделей у професійній підготовці фахівців технічного профілю на основі LMS MOODLE. URL: <http://2015.moodlemoot.in.ua/course/view.php?id=73>.
7. **Почтовюк С. І., Білик О. В.** Використання віртуального лабораторного засобу в процесі навчання майбутніх електриків // Актуальні питання сучасної інформатики, 2016.- №3.- С.239-242.
8. **Прудка О.В.** Розробка віртуальних стендів на базі NI LabView для використання у дистанційному навчанні // Штучний інтелект, 2008.- №4.- С.493-499.
9. **Репьев Ю.Г., Платонов А.В.** Информационная электротехническая лаборатория в открытом образовании // Открытое образование, 2005.- №6.- С.12-17.
10. **Чорний О.П., Родькін Д.Й., Євстифєєв В.О.** Віртуальні лабораторні комплекси для навчального процесу і наукових досліджень // Передовые технологии и технические решения, 2008.- №4.- С. 15.
11. **Чеховський С.А.** та ін. Розробка віртуальних лабораторних стендів для вимірювання тиску, температури та витрати / С.А. Чеховський, Н.М. Піндус, Л.А. Витвицька, В.В. Остапів, Н.Б. Долюшня, С.М. Белей, Б.І. Прудніков // Системи обробки інформації, 2010.- випуск 4 (85).- С.77-80.
12. **Цвенгер И.Г.** Новые информационные технологии в лабораторном практикуме // Вестник Казанского государственного энергетического университета, 2013.- № 2 (17).- С.147-157.
13. **Цвенгер И.Г., Цвенгер Ю.В.** Концепция реализации лабораторного практикума в современном техническом университете // Вестник технологического университета, 2012.- т.15.- в.22.- С.210-213.
14. Create a software simulation. URL: <https://helpx.adobe.com/ua/captivate/how-to/create-software-simulations.html>
15. CYBERmine simulator system. Underground drill rig simulators. URL: <https://www.thoroughtec.com/wp-content/downloads/cybermine/English/CYBERMINE%20Underground%20Drill%20Rig%20Simulator%20Brochure.pdf>
16. SOLIDWORKS eDrawings. URL: <https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-edrawings>

УДК 338.26:621

С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., Криворізький національний університет

С.А. ХАРІН, д-р техн. наук, проф., Ю.С. ПАПІЖ, канд. екон. наук, доц.,

В.В. ЮДЕНКО, ст. викл., Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

О.В. КОРОВІНА, канд. екон. наук, доц., Криворізький державний педагогічний університет

РЕСУРСНО-УПРАВЛІНСЬКИЙ АСПЕКТ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИКИ ЯК ПРОГРЕСУЮЧИЙ ТРЕНД СВІТОВОЇ ЕКОНОМІКИ

Мета. Аналіз сучасного стану та перспектив впливу викидів CO₂ в атмосферу планети на прояв кліматичних явищ, аналіз динаміки світової електроенергетики та можливостей прийняття управлінських рішень з вибору оптимальних напрямків її розвитку в контексті декарбонізації.

Методи дослідження. У роботі використано комплексний підхід, методи аналізу і синтезу. Дослідження ґрунтуються на офіційних відомостях світової економічної статистики, вивченні даних міжнародних інформаційних агентств та організацій.

Наукова новизна. На основі аналізу динаміки світової електроенергетики запропоновано матрицю аналізу різних видів електростанцій за групою критеріїв у контексті менеджменту декарбонізації.

Практичне значення. Матриця аналізу за групою критеріїв сприяє прийняттю управлінських рішень з розвитку певних видів підприємств електроенергетики у контексті менеджменту декарбонізації.

Результати. Аналіз глобальних екологічних викликів, які стали сьогодні реальністю та можливих шляхів розвитку світової електроенергетики в контексті декарбонізації дозволив встановити наступне. Температура атмосфери планети зростає сьогодні і зростатиме надалі з неминучістю у зв'язку з неможливістю не тільки скорочення існуючого рівня викидів вуглекислого газу, а й навіть збереження такого рівня викидів, який є нині. Разом з тим людство все далі більш чітко усвідомлює наростаючу небезпеку і шукає способи боротьби з нею. Найбільш гострою проблемою енергетики є одержання первинної електричної енергії, у контексті декарбонізації – одержання такої енергії без викиду вуглекислого газу або з мінімально можливим викидом. В даний час отримання кількості енергії, що повністю задовольняє потребам людства, тільки екологічними способами поки не є можливим. Дослідження світового досвіду формування перспектив електроенергетики показав необхідність активного розвитку, як кількісного, так й ефективності вітрових, сонячних електростанцій, сьогодні і в тривалій перспективі. На основі вивчення динаміки світової електроенергетики запропоновано матрицю аналізу різних видів електростанцій за групою критеріїв у контексті менеджменту декарбонізації.

Ключові слова: менеджмент, кліматичні зміни, Конференція ООН зі зміни клімату 2021 р., декарбонізація, енергетика, матриця аналізу.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-96-102

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Проблема всесвітнього потепління стала реальністю сьогодні, виразом чого служать дедалі помітніші урагани та повені в одних регіонах планети та посухи в інших, підйом рівня океану, зниження врожаїв сільськогосподарських культур, зсуви тощо. Вирішення цієї проблеми, яка носить глобальний характер, залежить від злагоджених зусиль світової спільноти. У рамках декарбонізації, що є інструментом такого рішення, необхідно чітко визначити конкретні завдання перетворень, ув'язати терміни та наявні можливості та вжити невідкладних, давно назрілих заходів щодо розвитку енергетичних можливостей різних країн, які завдають мінімальної шкоди природі.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженню процесів менеджменту присвячено багато робіт, зокрема [1-3]. Разом з тим, в умовах все більш прискореного посилення глобальних кліматичних процесів потребують розгляду та дослідження специфічні питання, що пов'язані з можливістю зменшення наслідків таких процесів.

Постановка задачі. В рамках дослідження потрібно виконати аналіз сучасної динаміки світової електроенергетичної галузі за видами енергії, запропонувати модель, що сприяє прийняттю управлінських рішень в рамках менеджменту декарбонізації.

Викладення матеріалу та результати. Аналіз Бюлетеня Всесвітньої метеорологічної організації [4], зокрема, показав таке:

температура атмосфери планети зростатиме надалі з неминучістю у зв'язку з неможливістю як скорочення існуючого рівня викидів вуглекислого газу, а й навіть збереження такого рівня, визначальним прогнозом може лише зростання викидів вуглекислого газу;

вказується, що навіть дуже інтенсивне зниження викидів CO_2 «до чистого нульового рівня», що видається принаймні в даний час неможливим, а в перспективі – дуже важко реалізованим, не призведе до зниження глобальної температури, що обумовлено тривалістю існування молекул вуглекислого газу;

інерція збереження температури на планеті, як припускають у Всесвітній метеорологічній організації, навіть за відсутності збільшення викидів вуглекислого газу обчислюватиметься багатьма десятиліттями;

викиди CO_2 призводять не просто до збільшення глобальної температури, але, що підтверджується численними повідомленнями з різних регіонів планети, особливо часто і в незвично гострій формі в останні роки, а до стихійних лих, ураганів, повеней, руйнувань житла та промислових об'єктів, зсувів ґрунту. Яскравою ілюстрацією цього є руйнівна повінь у Німеччині та низці інших країн влітку 2021 р., інтенсивність якої призвела до багатомільярдних економічних збитків;

танення льоду в океанах, гірських льодовиків характеризується розмірами, які були невідомі історії людства;

вказується занепокоєння тією обставиною, «що здатність наземних екосистем і океанів виступати як поглиначі може стати менш ефективною в майбутньому, що понизить їх здатність поглинати CO_2 і виступати як буфер у боротьбі з більш значним підвищенням температури», іншими словами, зростання температури на планеті буде ще більш інтенсивним не тільки під

впливом зростаючої господарської діяльності людини, але й через руйнування захисного механізму природи, що функціонував раніше і небезпечним чином втраченого сьогодні;

показано збільшення радіаційного впливу парникових газів довгоживучого характеру на 47 % за період з 1990 по 2020 р.;

наголошується, що «у 2020 р. концентрація двоокису вуглецю ... досягла 413,2 частини на мільйон і склала 149% від доіндустріального рівня. Концентрація метану становить 262%, а закису азоту – 123% від рівнів 1750». Цю історичну позначку автори Бюлетеня [4] пов'язують з початком впливу господарської діяльності людини на природу, що вже було не можна ігнорувати, і який «почав порушувати природну рівновагу Землі».

Генеральний секретар Всесвітньої метеорологічної організації професор Петер Таалас, даючи заключну оцінку, відзначив [4]: «Бюлетень парникових газів містить невтішне наукове повідомлення для учасників переговорів з питання зміни клімату на Конференції ООН зі зміни клімату 2021 р. (COP26). За нинішніх темпів зростання концентрації парникових газів до кінця цього століття неминучим є підвищення глобальної температури, що значно перевищує цільові показники Паризької угоди на 1,5-2 °C вище за доіндустріальні рівні... Ми значно відхилилися від курсу».

Думку генерального секретаря Всесвітньої метеорологічної організації поділяє Генеральний секретар ООН Антоніу Гутерріш, який на саміті світових лідерів в рамках кліматичної конференції ООН (COP26, Глазго, осінь 2021 р.), зокрема, вказав [5]: «Шість років після Паризької кліматичної угоди стали шістьма найспекотнішими роками в історії. Наша планета змінюється на очах – від океанських глибин до гірських вершин; від танення льодовиків до неблаганних екстремальних погодних явищ». Антоніу Гутерріш дав оцінку зусиллям різних країн щодо зменшення руйнування природи і зобов'язанням на майбутнє: «І навіть якщо недавні обіцянки були чіткими та достовірними – а щодо деяких з них є серйозні запитання – ми все одно рухаємося до кліматичної катастрофи. Навіть у найкращому випадку температура підніметься значно вище двох градусів...» [5].

Експерти дуже стримано оцінюють результати конференції з клімату COP 26. Як вказує British Broadcasting Corporation: «Успіхи цього саміту: обіцяння припинити вирубку лісу після 2030 року та зменшити викиди метану на 30% до 2030 року. Їх важко назвати проривами» [6].

Разом з тим COP 26 показав, що у світі розуміють наявність важкої кліматичної кризи, яка постійно посилюється, але не можуть її зупинити. Важко уявити, що світова спільнота знайде у собі сили до справді масштабних зусиль глобального характеру. Разом з тим активні дії — потрібні, та потрібні невідкладно.

Найбільш гострою проблемою енергетики є одержання первинної електричної енергії, у контексті декарбонізації – одержання такої енергії без викиду вуглекислого газу або з мінімально можливим викидом. Але разом з тим достовірно встановлено, що в даний час отримання кількості енергії, що повністю задовольняє потребам людства, тільки екологічними способами або близькими до цього поняття не є можливим.

Досить великі обсяги електроенергії забезпечують сьогодні атомні станції, які не викидають вуглекислий газ в атмосферу, але мають низку негативних властивостей – їхня безпека, у разі виникнення аварій, землетрусів, повеней тощо, може бути надзвичайно високою. Крім того, сировина, що використовується в процесі її переробки, перетворення на паливо, а також відпрацьоване паливо вимагають особливого обігу, що є дуже витратним. До того ж запаси сировини для атомної енергетики у глобальному розумінні є досить обмеженими.

Атомні станції розташовуються лише у певних регіонах, зазвичай, у порівняно розвинених країнах, вони не можуть бути побудовані швидко і вимагають фахівців високої кваліфікації та постійного контролю. Проте атомні станції в період неухильного зростання температури на планеті та необхідності боротьби з цим явищем, мабуть, залишаться важливим джерелом електрики у найближчі десятиліття.

Вітрові електростанції вже сьогодні є дуже важливим і, здається, найбільш перспективним джерелом екологічно прийнятної електроенергії. У такій високорозвиненій країні, як ФРН, налічується понад 20 тис. вітроустановок, за їх допомогою виробляється близько 25% електроенергії. Вітрові електростанції розташовуються, як на суші, так і на морі, в останньому випадку їхня енергоефективність, як правило, — вища. Вітрові електростанції мають значно меншу потужність порівняно з тепловими, залежними від сили вітру – це їх істотні недоліки. Але, оскі-

льки вони можуть бути розміщені в багатьох місцях, майже не займають сільськогосподарських земель, і можуть бути різної потужності, є екологічно привабливими, то, з великою ймовірністю, такі електростанції розвиватимуться найактивніше.

Потужність великих вітрових електростанцій усе ж таки може бути досить високою, що підтверджує їх перспективність. Так, наприклад [7], широко відома британська шельфова вітряна електростанція London Array, розташована в гирлі річки Темзи, приблизно за 20 км від берега, на якій встановлено 175 турбін, у період введення в експлуатацію була найбільшою у світі шельфовою вітроелектростанцією і мала потужність 630 МВт. Потужність цієї станції могла бути значно більшою, але подальше її розширення зупинили на вимогу захисників птахів. Проте навіть існуюча потужність London Array є дуже показовою і її можна порівняти з потужністю середньої теплової електростанції.

У цьому контексті актуалізується дослідження питань про те:

які максимальні обсяги електроенергії можна виробити за допомогою вітрових станцій у тих чи інших регіонах планети;

які інвестиції будуть потрібними для реалізації таких проектів і якою буде собівартість енергії;

як співвідноситимуться обсяги виробництва енергії вітровими електростанціями та її споживання за періодами часу в різних регіонах. Відповіді на ці запитання є важливими для прийняття рішень щодо темпів та географії розвитку енергетики вітрової у поєднанні з розвитком інших її видів.

Також дуже важливим і перспективним напрямком розвитку «зеленої» енергетики є сонячні електростанції. Потужність таких станцій зазвичай — невелика, вони залежать від погоди та часу доби, розміщення сонячних елементів у деяких випадках є недоцільним, оскільки вони можуть займати цінні сільськогосподарські землі. Проте ці елементи можуть монтуватися в багатьох місцях, наприклад, на дахах будинків або промислових будівель тощо.

Дуже великі сонячні електростанції можуть бути спорудженими в пустелях, що підтверджується останніми роками багатьма прикладами. Так сонячна електростанція Solar Star (Каліфорнія, США), що належить ВНЕ Renewables, з вихідною потужністю 579 МВт виробляє за допомогою 1,72 млн сонячних панелей електроенергію, достатню для забезпечення приблизно 255 тис. будинків [8]. Це була найпотужніша наземна фотоелектрична система у світі, коли її було введено в експлуатацію у червні 2015 р. [9]. У листопаді 2016 року Solar Star поступився цим рекордом індійському сонячному парку Таміл Наду потужністю 648 МВт. [10].

Будівництво Solar Star є лише частиною масштабної програми. До 2045 р. Каліфорнія розраховує отримувати всю електроенергію з відновлюваних джерел. Це дозволить виконати цілі Паризької угоди щодо клімату, заявив губернатор Джеррі Браун [11].

Найбільшим у світі сонячним парком на одному майданчику, із запланованою загальною потужністю 5000 МВт до 2030 р., буде сонячний парк Мохаммеда бен Рашида Аль Мактума — мережі сонячних електростанцій у пустелі в ОАЕ, проекти яких є одним з ключових стовпів «Стратегії чистої енергії Дубаю — 2050», мета якої — забезпечити це місто на 75% загальної потужності за рахунок екологічно чистих джерел енергії до 2050 р. [12].

Очевидно, що такі великі сонячні електростанції можна порівняти за потужністю з найбільшими атомними або тепловими електростанціями. Якщо подібні об'єкти будуть споруджуватись у різних регіонах планети — це серйозно зможе сприяти процесу декарбонізації.

Електростанції, що працюють на природному газі, виробляють сьогодні майже чверть світової електроенергії та значну частину викидів вуглекислого газу, є менш екологічно шкідливими, ніж вугільні. Вони будуть компромісним варіантом ще протягом кількох десятиліть, оскільки мають низку цінних якостей — велику потужність, здатність до швидкого запуску та можливості згладжувати піки споживання енергії у разі, коли вітрові або сонячні електростанції не можуть функціонувати.

Авторитетний економічний експерт Deutsche Welle (ФРН) А. Гурков [13], аналізуючи виступи Олафа Шольца, звертає увагу на відгуки того щодо газової енергетики: «Необхідно усвідомити, що ми ще тривалий час користуватимемося газом і також будуватимемо нові газові електростанції, оскільки вони є передумовою для того, щоб ми взагалі змогли подолати цей період змін» [13].

Увага до газових електростанцій обумовлена тим, що при спалюванні природного газу виділяються значно менші обсяги CO₂, ніж на вугільних. Вони розглядаються як тимчасові, на період переходу до повного використання відновлюваних джерел енергії, але дуже важливі заходи забезпечення енергії і самої можливості такого переходу.

Ідею масового будівництва газових електростанцій підтримують також Федеральне об'єднання німецької промисловості (BDI) та консалтингова компанія BCG, які восени 2021 р. представили масштабне дослідження "Кліматичні стежки 2.0. Економічна програма заради клімату та майбутнього" [14].

Як вказується в [13], дослідження є плодом зусиль понад 150 експертів BDI, міжнародної консалтингової компанії Boston Consulting Group (BCG) та понад 80 німецьких фірм та організацій бізнесу. Дослідження намітило найбільшу програму структурних змін й інвестицій, яка вимагатиме до 2030 р. приватних та державних вкладень у розмірі 860 млрд. євро в усіх ключових напрямках.

Німеччина має намір різко збільшити споживання електроенергії, що пов'язано, зокрема, з активним розвитком електромобільності, збільшенням частки електроенергії в опаленні. При цьому намічені наступні заходи [14]:

дворазове зростання введення в дію потужностей відновлюваних джерел енергії щорічно з 7 до 14 ГВт;

забезпечення до 2030 р. загальних потужностей сонячної енергетики ФРН до 140 ГВт;

у цей період планується наростити потужність вітрових електростанцій, материкових – до 98 ГВт, офшорних – до 28 ГВт;

збільшити до 2030 р. потужності газових електростанцій у 2,3 рази – до 74 ГВт, при цьому – з можливістю використання на них у майбутньому замість природного газу – водню.

Масштаби енергетичних проектів є надзвичайно масштабними і продуманими, вони сформульовані з урахуванням дуже швидкої відмови ФРН від атомних електростанцій, у майбутньому – від вугільних. Такі реформи можуть, тією чи іншою мірою, бути реалізовані в різних країнах, з урахуванням місцевих умов.

Президент Франції Емманюель Макрон нещодавно заявив про намір інвестувати у розвиток ядерних міні-реакторів, представляючи у Єлисейському палаці стратегію розвитку Франції до 2030 року: 8 млрд. з 30 млрд. євро будуть направлені в енергетичний сектор, з них 1 млрд. – на розвиток мініреакторів потужністю від 50 до 500 МВт (набагато менших наявних реакторів потужністю від 900 до 1450 МВт), які можуть бути побудовані кластерами, щоб підвищити загальний виробіток електроенергії [15].

Малі модульні атомні реактори американської компанії NuScale, потужність яких – близько 60 МВт, можуть бути збудовані в різних місцях, якщо потрібно, то – групами. Прогнозується, що безпечність атомних мініелектростанцій має бути значно вищою великих. NuScale заявляє, що реактори мають розширені функції безпеки, включаючи самоохолодження та автоматичне відключення [16].

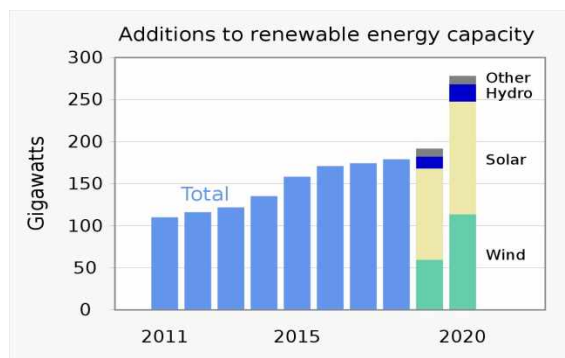


Рис. 1. Динаміка потужностей за відновлюваними джерелами енергії

Як свідчить (рис. 1), світовий приріст потужностей за відновлюваними джерелами енергії у 2020 році збільшився більше, ніж на 45% порівняно з 2019, у тому числі на 90% збільшилася потужність вітрових (зелений колір) та на 23% збільшилася кількість нових сонячних фотоелектричних установок (жовтий колір) [17].

Слід вважати прогресивним, що глобальний розвиток електроенергетики в майбутньому буде супроводжуватись активним зростанням значення електромобільного транспорту, який стане найважливішим. Електроенергія стане основним засобом опалення взимку, зможе знизити використання вугілля та мазуту у промисловості.

Спираючись на виконаний огляд, для визначення та прогнозування ефективності декарбонізації енергетики і можливостей прийняття відповідних управлінських рішень, запропоновано

матрицю аналізу інтегральної ефективності різних видів електростанцій (табл. 1). Значення критерію: *A* – дуже високий рівень, *B* – високий, *C* – середній, *D* – низький. Оцінка ефективності за сумою критеріїв, безумовно, має певний суб'єктивний характер, однак може віддзеркалити загальну оцінку перспективності різних видів електростанцій та сприяти прийняттю максимально адекватних управлінських рішень з вибору розвитку тих або інших їх видів в рамках менеджменту декарбонізації.

Таблиця 1

Інтегральна матриця за критеріями використання різних видів електростанцій

Вид електростанцій	Запаси сировини, ресурсу за критерієм вичерпання та можливості транспортування	Можливість розміщення	Безпечність	Викиди CO ₂	Коефіцієнт корисної потужності	Потужність	Сумарно
Газові ТЕС	C	A	C	C	B	A	2A+B+3C
Сонячні	A	B	A	A	D	C	3A+B+C+D
Вітрові	A	B	A	A	C	C	3A+B+2C
Гідро	A	D	C	A	C	B	2A+B+2C+D
Вугільні ТЕС	B	C	C	D	B	A	A+2B+2C+D
Атомні великі	C	C	D	A	A	A	3A+2C+D
Атомні міні	C	B	C	A	A	C	2A+B+3C

Ефективність гідроелектростанцій розглядається для умов Європи, де, як вважається, можливості будівництва нових станцій великої потужності – майже вичерпані.

Аналіз таблиці свідчить про те, що більш ефективними за сумою наведених критеріїв є вітрові, сонячні, атомні міні- та газові електростанції у порівнянні з найпоширенішими зараз вугільними та потужними атомними, останні з яких протягом декількох десятиліть рекомендується замінити на більш екологічно прийнятні.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином, аналіз глобальних екологічних викликів, які стали сьогодні реальністю, та можливих шляхів розвитку світової електроенергетики в контексті декарбонізації дозволив встановити наступне. Температура атмосфери планети зростає сьогодні і зростатиме надалі з неминучістю у зв'язку з неможливістю не тільки скорочення існуючого рівня викидів вуглекислого газу, а й навіть збереження такого рівня викидів, який є нині.

Разом з тим людство все далі більш чітко усвідомлює наростаючу небезпеку і шукає способи боротьби з нею. Магістральним напрямком розвитку всіх аспектів життя повинна бути декарбонізація, яка представляється безальтернативною.

Аналіз світового досвіду формування перспектив електроенергетики показав необхідність активного розвитку вітрових, сонячних електростанцій, сьогодні і в тривалій перспективі. На деякий перехідний період, який, ймовірно, обчислюється кількома десятиліттями, можуть бути рекомендовані газові електростанції і, де це можливо, атомні мікроелектростанції. Останні, як прогнозується, більш сучасні і безпечні, ніж традиційні великі атомні станції, потребують менш тривалих термінів будівництва та витрат. На основі аналізу динаміки світової електроенергетики запропонована матриця аналізу різних видів електростанцій за групою критеріїв у контексті менеджменту декарбонізації. Вказана матриця сприяє прийняттю управлінських рішень з розвитку певних видів підприємств електроенергетики в умовах активізації процесів збереження клімату.

Подальші дослідження можуть бути направлені на визначення ефективності використання різних видів енергії в контексті декарбонізації.

Список літератури

1. Хміль Ф.І. Основи менеджменту. – К.: Академвидав, 2003. – 608 с.
2. Скрипко Т.О. Інноваційний менеджмент. – К.: Знання, 2011. – 423 с.
3. Осовська Г.В., Осовський О.А. Основи менеджменту. – К.: «Кондор», 2006. – 664 с.
4. <https://public.wmo.int/ru/media/пресс-релизы/бюллетень-по-парниковым-газам-очередной-год-очередной-рекорд>
5. <https://www.un.org/sg/en/node/260423>
6. <https://www.bbc.com/russian/features-59101849>
7. <https://londonarray.com>
8. <https://us.sunpower.com/sites/default/files/media-library/case-studies/cs-solar-star-projects-fact-sheet.pdf>
9. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/Solar-Star-Largest-PV-Power-Plant-in-the-World-Now-Operational>

10. <https://indianexpress.com/article/india/india-news-india/solar-power-plant-kamuthi-tamil-nadu-world-largest-4403895/>
11. <https://p.dw.com/p/34eRV>
12. <https://wam.ae/ru/details/1395302961361>
13. <https://p.dw.com/p/42aRwB>
14. <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-2-0-handlungsempfehlungen-zur-studie/>
15. <https://p.dw.com/p/424F2>
16. <https://techxplora.com/news/2020-09-first-ever-small-commercial-nuclear-reactor.html>
17. <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-2021/renewable-electricity>

UDC 622.271

V.I. PAKHOMOV, Cand.Sc., Docent, I.V. HIRIN, Senior Lecturer,
Yu.A. MONASTYRSKYI, Dr.Sc., Professor, V.Yu. TYSHCHENKO, Research Associate
Kryvyi Rih National University

RATIONAL PROFILE FOR CAREER ROADS

Purpose. To develop the method for optimizing the longitudinal road profiles of deep horizons through the scientific and technical solutions for the design and practical use of effective trucking systems in opencast mining.

Research methods. Mathematical statistics, axiomatic and hypothetical methods, program-target method, generalization of experience of domestic quarries with the use of statistical data on production and operational characteristics of motor transport equipment, system analysis and simulation using information computer technologies; technical and economic calculations to substantiate effective technical and organizational solutions, mathematical modeling, technical and economic analysis, regression analysis in the study of the influence of the parameters of the road profile on the speed of dump trucks.

Scientific novelty. The experimental-analytical methods for assessing mining and road conditions of technological vehicles based on a comprehensive accounting of physical criteria - loading mode of units of the dump truck, its speed depending on the applied configuration along the longitudinal profile; methods for assessing road operating conditions, the calculation of rational structures of road profiles used to power heavy-duty dump trucks is a contribution to the theory of transport systems formation in quarries.

Practical significance. Boosting operation of motor transport equipment by increasing the average speed of heavy-duty dump trucks through the use of guidelines for optimizing the longitudinal profile of roads and intensifying of opencast mining.

Results. The research results allow to increase the scientific validity and accuracy of operational indicators of quarry vehicles by considering the comprehensive mining and road operating conditions; reduce the cost of transporting rock mass by optimizing the longitudinal profile of roads and achieve an increase in the speed of loaded dump trucks.

Key words: quarry roads, heavy dump trucks, longitudinal profile.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-102-107

Problem statement. A career road is a sequence of tracks with different slopes, where the slopes of the travelled tracks affect the driving mode on the following tracks. However, the previous studies have not considered the relationship of the longitudinal profile characteristics of all driving tracks consistently travelled by the vehicles in deep quarries. In this regard, an important issue to be addressed is how to optimize characteristics of a longitudinal profile that integrate with technological and transport factors. This is particularly relevant in the lower horizons of the quarry, where the mining conditions determine the longitudinal profile of roads. The deeper the quarry is, the more convex the longitudinal road profile related to the technological mining conditions becomes. Thus, objective prerequisites exist for further setting and solving the task: what should be the longitudinal profile of roads within the working quarry at a given lifting height until the loaded dump truck reaches the above-horizon-mark in a shortest time - time criterion? Insights into the question can be gained from various perspectives including fuel consumption for the work performed, the transportation cost of 1 t mining rock mass and the total cost of roads and transportation. It should be noted that the slight change in the longitudinal profile affects the distance travelled by the vehicle between the loading and unloading points. The general task is effectively solved by modeling the driving modes of the vehicles.

Analysis of the recent research and publications. Presently, considerable Ukraine's and international competencies in the design, construction and operation of quarry roads under different mining, geological and climatic conditions come from the works by S.O. Arefiev, Yu.A. Monastyrsky, I.V. Kuznetsov, V.O. Vynokurov, V.O. Sistuk, M.V. Dadonov, K.V. Ardeiev, P.V. Artman, E.A. Kreisman, V.O. Zhukov, V.V. Kryvda, A.I. Kosolapov, S.A. Kosolapova, I.A. Luika. Although, the roads are of different parameters and designs, most of them move dump trucks with a capacity of 75-120 tons. Currently, there is no single science-based method of optimizing the parameters of the roads.

Objectives of the article. The following research objectives were formulated in order to achieve the desired goals:

to establish statistical data on real speed modes of dump trucks for long-term operation in the PJSC "Northern GZK" quarries ;

to determine the principles of software engineering for data processing;

to develop a software package for experimental data analyzing including speed modes of heavy-duty dumpers in the quarry under different environmental conditions.

Presentation of the main research and results. Consider the vehicle motion according to the analytical model theory of operational properties. We use the differential equation of vehicle's speed on a route length

$$\frac{dV}{dl} = \frac{(D(V) - \Psi(l)) \cdot g}{\delta(V) \cdot V_{cp}(l)}, \quad (1)$$

where D is the dynamic factor of a vehicle; $\Psi(l)$ is the total road resistance; g is the gravitational acceleration; $\delta(V)$ is the coefficient of influence of the rotating masses of the vehicle; $V_{cp}(l)$ is the average speed of the vehicle on the driving track.

We solve the equation of the dynamic factor D related to the velocity V

$$D = (P_k - P_w) / G, \quad (2)$$

where P_k is the traction on the drive wheels of a dumper; $P_w = k \cdot F \cdot V^2$ is the air resistance; k is the air resistance coefficient, which depends on the shape and quality of the vehicle's surface, $\text{H s}^2/\text{m}^4$; F is the frontal area of the vehicle, m^2 ; G is the weight of the vehicle.

For dump trucks with electromechanical transmission, the power transmitted from the primary (diesel) engine to the drive wheels of the vehicle is equal to

$$N_k = N_e \cdot \eta_{ecn} \cdot \eta_c \cdot \eta_p \cdot \eta_\delta = N_e \cdot \eta_\delta \cdot \eta_p = 10^{-3} \cdot I_z \cdot U_z \cdot \eta_\delta \cdot \eta_p, \quad (3)$$

where N_k is the power on the drive wheels of the dumper, kW; N_e is the engine effective power, kW; η_{ecn} is the engine power loss coefficient of the auxiliary equipment drive; η_c is the electrical network efficiency; η_p is the motor-wheel reducer efficiency; η_δ is the traction motor efficiency; N_e , I_z , U_z are power, current and generator voltage.

The power consumed by the generator of the BelAZ-7549 dumper is equal to $N_{cb} = 630$ kW - free power. Another power diesel engine (142 kW) consumed to drive the vehicle's auxiliary equipment and power transmission losses from a diesel to generator, kW

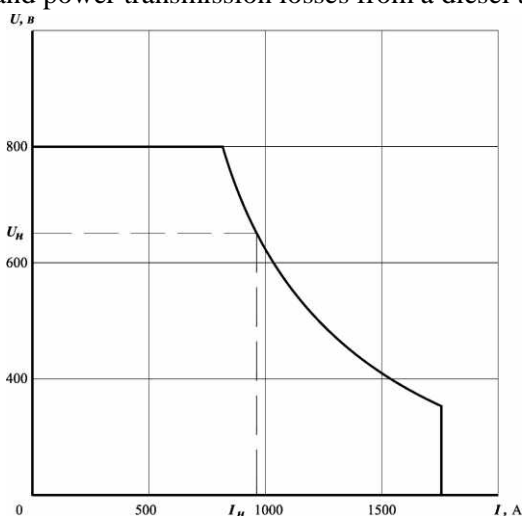


Fig. 1. External characteristic of the generator ($N_z = I_z \cdot U_z = \text{const}$) of the BelAZ-7549 dumper

$$N_z = U_z \cdot I_z = N_{cb} \cdot \eta_c = 630 \cdot 0,92 = 580,$$

where $\eta_c = \eta_r \cdot \eta_b = 0,945 \times 0,975 = 0,92$; η_r is the generator efficiency; η_b is the rectifier efficiency.

The external characteristic of the generator $U_r = f(I_r)$ considering the losses in the generator and rectifier is shown in Fig. 1.

Traction motors implement the specified limit and partial traction characteristics of the vehicle according to the expression

$$N_k = 0,272 \cdot 10^{-3} \cdot P_k \cdot V. \quad (4)$$

Equating expressions (3) and (4), we obtain the dependence of the traction force P_k of the drive wheels on the vehicle's speed V at nominal free power N_{cb}

$$0,272 \cdot 10^{-3} \cdot P_k \cdot V = 10^{-3} \cdot I_z \cdot U_z \cdot \eta_\delta \cdot \eta_p; \\ P_k = 3,68 \cdot I_z \cdot U_z \cdot \eta_\delta \cdot \eta_p / V, \quad (5)$$

where V is the vehicle's speed, km / h.

The generalized limit traction characteristic of the

BelAZ-7549 dumper is shown in fig. 2. This characteristic shows that all operation modes of the vehicle are within the three main sections of the dependence $P_{\kappa}(V)$, corresponding to the maximum traction force $P_{\kappa, \max}$ (line $0_1 0_2$), maximum power N_{ce} (curve $0_2 0_3 0_4$) and the maximum speed V_{\max} (curve $0_4 0_5$). The section $0_2 0_4$ consists of two zones: long-term mode (curve $0_3 0_4$) and short-term mode (curve $0_2 0_3$). The points 0_2 and 0_4 of the dependence $P_{\kappa}(V)$ are the limit and correspond to output of the vehicle with electromechanical transmission in modes of maximum power N_{ce} and speed V .

Using the formula (2) and the dependences $P_{\kappa} = f(V)$, $PW = f(V)$ we obtain the dependence of the dynamic factor for the loaded BelAZ-7549 dumper, as shown in Fig. 3.

Alignment of the curve $D = (V)$ is performed precisely on the hyperbola

$$D = \frac{A}{B + C \cdot V}, \quad (6)$$

where A, B, C are the dump truck's empirical constants determined from the condition that the resulting curve must coincide with the leveling curve at three points: $D_{\max}(V=V_0)$, $D_{cp}(V=V_{cp})$, $D_{\min}(V=V_{\max})$

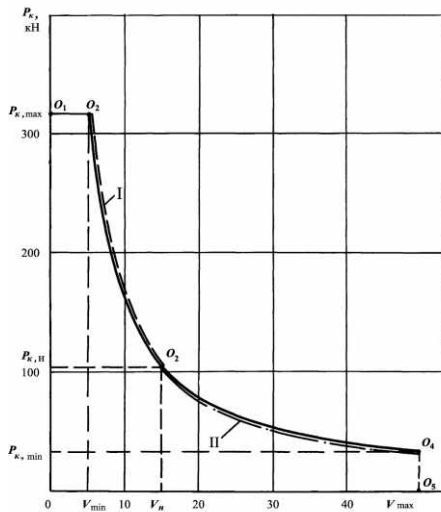


Fig. 2. Traction characteristics of the BelAZ-7549 dumper: I is for the first transmission; II is for the second transmission

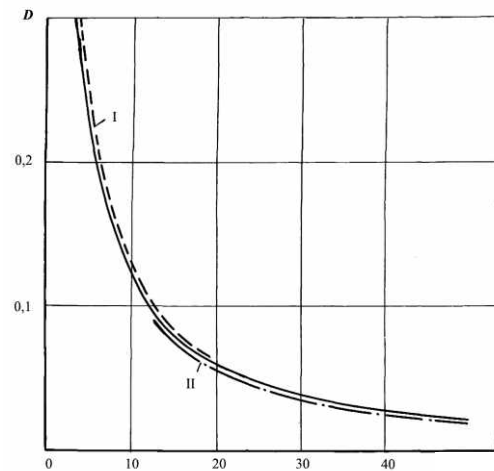


Fig. 3. Dependence of the dynamic factor for the loaded vehicle D on the motion speed V of the BelAZ-7549 dumper: I is for the first transmission; II is for the second transmission

Solve a system of equations

$$D(V) \begin{cases} D_{\max} = A/(B + CV_0) = A/B & V_0 = 0, & D_{\max} = 1/2; \\ D_{cp} = A/(B + CV_{cp}) & V_{cp} = 15 & D_{cp} = 0,08; \\ D_{\min} = A/(B + CV_{\max}) & V_{\min} = 50 & D_{\min} = 0,02, \end{cases}$$

we obtain the expression to determine constants

$$A = \frac{D_{\max}^2 \cdot D_{cp} \cdot V_{cp}}{D_{\min}^2 \cdot (D_{\max} - D_{cp}) \cdot V_{\max}}; \quad (7)$$

$$B = \frac{D_{\max} \cdot D_{cp} \cdot V_{cp}}{D_{\min}^2 \cdot (D_{\max} - D_{cp}) \cdot V_{\max}}; \quad (8)$$

$$C = \frac{D_{\max}}{D_{\min}^2 \cdot V_{\max}}. \quad (9)$$

When substituting the values of the vehicle speed V in m / sec, the hyperbolic function $D(V)$ is $D = 77,14/(69,29+216 V)$.

The total resistance of the road is determined

$$\Psi = f_{\kappa} \pm i, \quad (10)$$

where f_{κ} is the rolling resistance coefficient; i is the slope of the longitudinal road profile.

The rolling resistance coefficient on all tracks is to be relatively constant since the quarry vehicles travel on well-stiffened gravel roads treated with mineral or liquid binders. The total resistance of motion depends mainly on the geometric elements of the road longitudinal profile, which differ in size, alternation and length of slopes. To determine the dependence $\Psi = f(l)$ consider the geometric elements of the longitudinal road profile Pershotravnevyi in the PJSC "Northern GZK" quarry, which is presented in Fig. 4. Each element of the longitudinal profile is designed in the following values: the slope i expressed in ‰, with a plus sign on the rise and a multiple of 10 ‰; the length of the constant slope track l expressed in kms.

Fig. 4. Dependence of the slope longitudinal profile i on the length l Pershotravnevyi quarry road in the PJSC "Northern GZK" low horizons

The interpolating function $\Psi = f(l)$ is represented by a Newton polynomial

$$\Psi(l) = \sum_{i=0}^n a_i \cdot l^i = a_0 + a_1 \cdot l + a_2 \cdot l^2 + \dots + a_n \cdot l^n. \quad (11)$$

The researchers experimentally established the dependence of the change in the coefficient of rotational masses inertia on the speed of the loaded vehicle of quarry dump group (up to $V_{\max} = 15$ m/s)

$$\delta = 0,00046 \cdot V^2 - 0,0152 \cdot V + 1,188. \quad (12)$$

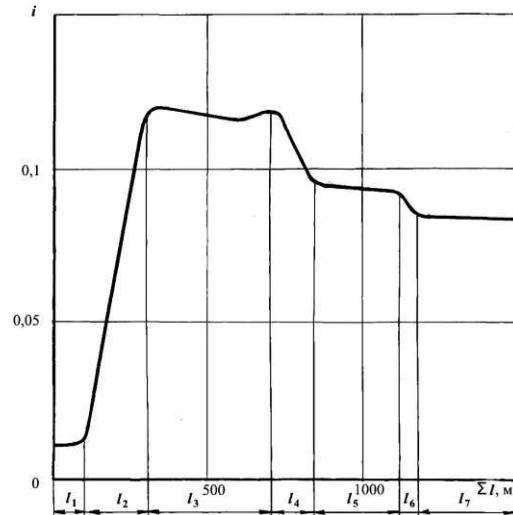
The presented dependence $\delta = f(V)$ can numerically solve the differential equation (1) and determine the dependence $V = f(l)$

$$dV = \frac{[D(V) - \Psi(l)] \cdot g \cdot dl}{\delta(V) \cdot V_{cp}(l)}$$

The initial limitations of the design model of the dump truck in the quarry are the following prerequisites. The longitudinal profile of quarry roads is presented as broken vertical lines, whose parameters are expressed by the dependence of the total resistance to the distance of transportation $\Psi = f(l)$. The motion of the loaded dumper on rise and on horizontal sites is considered at calculations. The motion of the vehicle on the rise is characterized by two modes related to uneven motion, when accelerating $P_j = P_\kappa - P_f - P_i - P_w$, or when slowing down $P_j = P_\kappa - P_f - P_i - P_w$, where P_j is the inertia force of the vehicle; P_f is the rolling resistance; P_i is the resistance force of the rise of the road. The equation corresponding to uniform motion is $P_\kappa - P_f - P_i - P_w = 0$. The condition of the sufficient traction is that acceleration of the vehicle should be with the maximum possible acceleration and at the highest possible speed not exceeding the limit and safe. The condition of the sufficient stability and traction is determined by the fact that the model does not consider wheel slippage, redistribution of reactions on the axles and wheels, oscillating processes in the transmission and chassis, and reducing the effectiveness of the brakes.

The methodological construction of a model, which reproduces the motion modes of a loaded dumper in order to study and optimize its technical and operational performance, is to simulate the conditions of quarry roads. Computational calculations of traffic in individual phases are performed in a sequence depending on the specific traffic conditions on a track. The traffic condition is determined by the numerical values of the geometric elements of the road, various limitations and the alternation of both. When simulating the longitudinal profile of quarry roads, a definite deterministic motion is modeled. The modes of the dumper motion are determined by a combination of technical and geometric parameters of the road.

Conclusions and direction of further research. As a result of modeling the traction mode of dumpers with a capacity of 75-130 tons, we found that the rational longitudinal profile of roads on deep horizons is concave. That provides the speed of loaded trucks by 3-9% higher than convex and 2-4% higher than straight sloping. A higher speed on the concave longitudinal profile relies on the use of a profile that provides a more favorable loading mode of units of the dump truck and contributes to the rational use of inertia of the moving vehicle. Thus energy expenses of the dumper on the concave-longitudinal-profile road are less than on the straight sloping and convex profile. The rational use of



the inertia force of the dumper moving on the concave-profile road provides a higher speed when entering areas with slopes of the longitudinal profile of more than 90-100 ‰.

References

1. **Бахтурин Ю.А.** Современные тенденции развития карьерного транспорта. / **Ю.А. Бахтурин** // Семинар № 16, 2009, с. 403–414.
2. **Буялич Г.Д.** Исследование транспортного процесса карьерных автосамосвалов / **Г.Д. Буялич, А.С. Фурман.** // Горное оборудование и электромеханика. – 2017. – № 5. – С. 40–42.
3. **Монастырский Ю.А.** Современное состояние технологического автотранспорта железорудных карьеров / **Ю.А. Монастырский, А.С. Вивчарык, И.В. Бондарь, Т.А. Климов** // Новітні шляхи створення, технічної експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів: всеукраїнської наук.-практ. конф., 8-11 вер. 2015 р.: збірник тез доповідей. – Одеса, 2015. – С. 165-166.
4. **Ворошилов Г.А.** Обоснование оптимальных уклонов автодорог при разработке нагорноглубинных карьеров, Диссертация на соис. уч. степени к.т.н. // 2008. – 155 С.
5. **Зайкин А.Н.** Автоматизация расчёта режимов работы комплексов машин / **А.П. Зайкин, Е.А. Памфилов, Е.Г. Изюмова** // Вестник Брянского технического университета, 2009. – №1. – С. 69-74.
6. **Зырянов И.В.** Повышение эффективности систем карьерного автотранспорта в экстремальных условиях эксплуатации. Диссертация на соис. уч. степени д.т.н. // 2006. – 378 С.
7. **Клюев, А. С.** Проектирование систем автоматизации технологических процессов / **А.С. Клюев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский.** // – М.: Энергия, 2015. – 512 с.
8. **Ребрин Е.Ю.** Моделирование режимов работы карьерного автотранспорта. Диссертация на соис. уч. степени к.т.н. // 1995. – 220 С.
9. **Рыбак Л.В.** Совершенствование организации работы карьерного автотранспорта на основе компьютерных технологий. Диссертация на соис. уч. степени к.т.н. // 2005. – 124 С.
10. **Стариков А.И.** Геоинформационное моделирование и автоматизированные расчеты горно-транспортных процессов в карьерах. Диссертация на соис. уч. степени к.т.н. // 2000. – 125 С.
11. **Темкин И.О.** Интеллектуальные системы управления горнотранспортными комплексами: современное состояние, задачи и механизмы решения / **И.О. Темкин, Д.А. Клебанов** // Горный информационно-аналитический бюллетень. Труды международного симпозиума "Неделя Горняка" – 2014 – Отдельный выпуск №1. – С. 257- 266.
12. **Терехин Е.Ю.** Исследование энергетической эффективности транспортных систем глубоких карьеров. Диссертация на соис. уч. степени к.т.н. // 2001. – 204 С
13. **Shrivastava A.** Monitoring the utilization of dump truck in coal mines using internet of thing (IoT) / **A. Shrivastava, S Goswami., L. M. Rao** // 2019 Global conference for advancement in technology (GCAT), Bangaluru, India, 2019. – pp. 1–4.
14. **Varakin I. N.** Application of ultracapacitors as traction energy sources / **I. N. Varakin et al** // Thesis of 7th International Seminar on Double Lauer Capacitors and Similar Energy Storage Devices, December 8-10, 1997. Florida: Deerfield Beach, 1997.-P. 87-91.
15. **Крейсман Е.А.** Аналіз гірничо-технічних умов експлуатації та режимів руху великовантажних самоскидів Криворізького регіону / **Крейсман Е.А., Монастырский Ю.А., Веснін А.В., Гальченко А.В.** // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: Науково-виробничий збірник / АДІ ДонНТУ. –2012. – № 1(14). – С. 115-119.
16. **Тогизбаева Б. Б.** Технологические показатели работы горнотранспортного оборудования:- Монография для студентов и магистрантов вузов специальностей: "Технологические машины и оборудование" -/ **Б. Б. Тогизбаева** // М-во образования и науки РК, Карагандинский государственный технический университет. - Караганда: КарГТУ, 2012. - 162 с.
17. **Кулешов А.А.** Оптимизация процесса движения автосамосвалов особо большой грузоподъемности по динамическому фактору / **Кулешов А.А., Зырянов И.В., Терентьев В.Ф.** // Горный журнал. Известия вузов, 1991, №2, с. 75-77.
18. **Потапова Е.А.** Оценка уровня организации транспортного процесса на открытых горных работах / **Потапова Е.А., Зырянов И.В.** // Колыма, 1993, № 2, с. 36-38.
19. **Дриженко А.Ю.** Карьерные технологические горнотранспортные системы: моногр. / **А.Ю. Дриженко.** // – Д.: НГУ, 2011. – 542 с.
20. **Кулешов А.А.** Математическое моделирование колебаний карьерных автосамосвалов при движении / **Кулешов А.А., Зырянов И.В., Зырянов И.В., Терентьев В.Ф.** // Колыма, 1994, № 3, с. 28-30.
21. **Ларин О.Н.** Оценка влияния горнотехнических факторов на эксплуатационные параметры карьерных автосамосвалов/ **О.Н. Ларин, О.Н. Вуейкова**// Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. – №7. – С 34–36.
22. **Зырянов И.В.** Нормирование скоростей движения карьерных автосамосвалов в зависимости от ровности дорожного полотна / **Зырянов И.В., Кулешов А. А., Зырянов И.В., Терентьев В.Ф.** //Горный журнал, № 4, 1995, с. 53-54.
23. **Вуейкова О.Н.** Анализ технико-эксплуатационных факторов работы карьерных самосвалов АО «ССГПО»/ **О.Н. Вуейкова**// Алдамжаровские чтения – 2010: сб. докладов междунар. научно-практ. конференции. – Костанай, 2010. – С. 43–48.

УДК 621.515.1

О.В. ЗАМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., О.В. ІЛЬЧЕНКО, асист.

Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОХОЛОДЖЕННЯ СТИСНЕНОГО ПОВІТРЯ В ТУРБОКОМПРЕСОРАХ

Мета роботи. Визначення та обґрунтування ефективної системи охолодження стисненого повітря в турбокомпресорах.

Методи дослідження. У роботі використані теоретичні методи дослідження (аналіз, синтез, абстрагування, узагальнення).

Наукова новизна. Отримали подальший розвиток закономірності процесів, які протікають при контактному охолодженню стисненого повітря в турбокомпресорах.

Практичне значення. Пневматична енергія широко застосовується в багатьох галузях промисловості. Поряд з паром, електрикою, механічною і гідравлічною енергією стиснене повітря використовується для автоматизації і механізації різних виробничих процесів. Для виробництва стисненого повітря у промислових масштабах використовують в основному турбокомпресори. Обов'язковою умовою нормальної експлуатації турбокомпресорів є охолодження стисненого повітря, цим досягається істотне зменшення необхідної потужності. Частіше всього використовують кожухотрубні теплообмінники, але в процесі експлуатації відбувається погіршення ефективності через забруднення теплообмінних поверхонь. Перспективними охолоджувачами є контактні теплообмінники. Розроблено рекомендації щодо промислового використання контактної системи охолодження з режимом охолодження та осушення стисненого повітря, принцип роботи якої полягає у безпосередньому контакті стисненого повітря та охолоджуючої води. Вода впорскується в повітропровід компресора після кожної секції стиснення і тим самим охолоджує повітря. Відділення води відбувається у спеціальних краплеуловлювачах, які встановлені перед наступною секцією. Вода при такому способі охолодження може бути нагріта лише до температури мокрого термометра за умов (температури, тиск і вологості повітря). Основною перевагою цього способу є висока інтенсивність теплообміну через відсутність розділяючих поверхонь схильних до забруднення накипом. Недолік – дещо ускладнена, порівняно із традиційною, схема водопостачання.

Результати. В результаті аналізу літературних джерел встановлено, що перспективним апаратом контактного охолодження стисненого повітря в турбокомпресорах є труба Вентурі – відцентровий сепаратор, так як поєднує в собі високий тепломасообмін і відносно невеликий гідравлічний опір. Але раціональні параметри контактних повітроохолоджувачів визначено тільки для номінального режиму роботи турбокомпресора при нормальних початкових умовах, тому необхідні додаткові дослідження для встановлення раціональних параметрів контактних повітроохолоджувачів при режимах відмінних від номінальних.

Ключові слова: стиснене повітря, турбокомпресор, система охолодження, контактний повітроохолоджувач, труба Вентурі, газ, рідина.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-107-112

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. При експлуатації турбокомпресорів, обладнаних кожухотрубчастими охолоджувачами повітря, відбувається швидке погіршення ефективності охолодження повітря, пов'язане з інтенсивним забрудненням теплообмінних поверхонь повітроохолоджувачів. Це призводить до зміни характеристик неоохолоджених секцій, що супроводжується зниженням продуктивності турбокомпресорів і збільшенням їх енерговитрат. Тож розробка ефективної системи охолодження турбокомпресора є актуальним завданням.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанню охолодження стисненого повітря присвячені роботи: Трегубова В.А., Замицького О.В. [1], Мурзіна А.В., Цейтліна Ю.А. [2-6], Степанова А.І. [7], Бороховича А. І., Закірова Д. Г., Бороховича Б.А. [8], Чистякова Ф. М. Ігнатенко В. В., Романенко Н. Т., Фролова П. П. [9], Ріса В.Ф. [10], Носирева Б.А., Рибіна А. А. [11], Мишина Д. С., Прасса І. Г., Пунтусова А. П. [12].

Постановка задачі. У системі охолодження турбокомпресорів в основному в якості повітроохолоджувачів використовуються теплообмінники поверхневого типу. Їх недоліками є інтенсивне забруднення теплообмінних поверхонь накипними відкладеннями в результаті використання охолоджуючої води без хімічистки. Сприяє цьому також використання відкритої системи охолодження води в градирні яке потребує постійного додавання води, що призводить до постійного збільшення накипних відкладень на стінках трубок повітроохолоджувачів. В результаті погіршується охолодження стиснутого повітря і як наслідок збільшуються питомі затрати електроенергії на виробництво стиснутого повітря. В той же час відомо багато інших

систем охолодження турбокомпресорів. Але для обґрунтування та вибору ефективної системи охолодження необхідні додаткові дослідження.

Викладення матеріалу та результати. В даний час галузь застосування стисненого повітря досить велика. Стиснене повітря використовується в металургії - для дуття в мартенівській печі, доменній печі, горні, вагранці тощо; в ливарній справі - для роботи трамбовок, вібраторів, пескоструйних апаратів, формувальних машин, пневматичних підйомників, обрубних молотків, обдування форм тощо; в ковальській справі – для роботи молотів, обдування штампів, дуття в нагрівальній і термічній печі; в машинобудуванні -для затиску деталей, роботи пневматичних молотів, пневматичних підтримок патронів і силових головок тощо; у вугільних шахта і гірничій справі - для роботи врубових машин, гірських бурів, перфораторних молотків тощо; в нафтовій промисловості - для проходки нафтових свердловин, підйому нафти (ерліфти) тощо; для транспорту і зв'язку - для гальм, підйомників, пневматичної пошти тощо; в будівельній справі - для роботи перфораторів, бетононасосів, цемент-гармат, пневматичних ломів, лопат, свердел, трамбовок, пульверизаторів для забарвлення, для забивання цвяхів, побілки тощо.

Крім того, стиснене повітря застосовується в енергетичній, поліграфічній, хімічній, холодильній та харчовій промисловості, в авіаційній, морській і військовій справі.

Стиснене повітря необхідне у вимірювальній техніці і в пристроях автоматичного регулювання.

Загальновідомо застосування повітря для транспортування соломи і сипучих речовин; для дуття в печі і котельній установці; для припливно-витяжної вентиляції; для сепарації пилу; для аспірації в млинах; для очищення зерна; для нагнітання в камери згоряння газотурбінних установок, двигуни внутрішнього згоряння і для багатьох інших процесів.

Також пневматичні машини успішно конкурують з електричними і паровими машинами у всіх областях техніки.

Повітря у порівнянні з парою більш транспортабельний через малі теплові втрати, також не має специфічні втрати на початкову конденсацію.

Тільки електриці поступається повітря по транспортабельності. Повітря має властивості, що полегшують його застосування. Повітря пружне, прозоре, всюди є в необмеженій кількості, не вогнебезпечне, без шкідливих властивостей. Ці особливості роблять стиснене повітря в великій кількості випадків вигідніше ніж пар.

У XIX ст. стиснене повітря використовувалось в гірничій справі, для приводу дрібних двигунів, для підйому рідини, пневматичної пошти тощо.

Успішне застосування газових турбін як повітряно-реактивних двигунів в авіації, стаціонарних і транспортних двигунів в значній мірі обумовлюється створенням високоекономічних і ефективних осевих і відцентрових компресорів для подачі під тиском газу і повітря в камері згоряння.

Поряд з поршневыми компресорами для потреб гірничо-шахтної справи і будівництва застосовуються компактні ротаційні компресори.

Центробіжні турбоповітродувки і багатоступінчасті турбокомпресори з'явилися на початку нашого століття.

Систему охолодження стисненого повітря використовують не тільки для осушення, але і для зменшення витрати енергії.

Охолоджуючи газ під час стиснення можна тим самим значно знизити споживання енергії. Існують такі методи охолодження повітря в турбокомпресорах: попереднє, внутрішнє і зовнішнє виносне охолодження. Також існує комбінація цих способів.

Попереднє охолодження. Під час попереднього охолодження охолоджувач встановлюють перед компресором, знижуючи таким чином початкову температуру газу. При постійній об'ємній потужності це збільшує масову продуктивність і потужність через втрати тиску в охолоджувачі.

Використання попереднього охолодження доцільно при більшій різниці між температурами охолоджуючого середовища та всмоктуваного газу, що досягається при використанні холодильної машини. Це буде невигідно, так як споживання енергії в холодильнику буде більше, ніж економія.

Зменшення роботи стиснення залежить не тільки від інтенсивності та способу охолодження, але і від інших факторів: величини ступеня підвищення тиску, від фізичних властивостей

газу, характеру процесу стиснення (від значення політропічного ККД), а також, від величини додаткових втрат, які виникають при введенні охолодження.

В [12] при порівнянні роботи, яка витрачається на стиснення без охолодження газу, з ізотермічною роботою передбачалося те, що охолодження стиснення газу не приводить до додаткових втрат. Кожен спосіб охолодження пов'язан з певними додатковими втратами, тож дійсна економія енергії, що витрачається при охолодженні газу буде менше, ніж це впливає з графіків. При використанні зовнішнього охолодження виникають втрати тиску в проміжних холодильниках і трубопроводах між компресором і холодильниками. Внутрішнє охолодження призводить до збільшення розмірів корпусу компресора (необхідного для збільшення поверхні охолодження), при цьому виникають додаткові втрати в зворотному апараті і дифузорі. Впорскування рідини порушує течію потоку газу, а це призводить до зниження газодинамічного ККД.

Крім додаткових втрат тиску, також охолодження стисненого газу пов'язане з іншими недоліками. Проміжні холодильники ускладнюють конструкцію машини і збільшують масу, тому собівартість виготовлення охолоджуваних компресорів буде вище на 20-30% в порівнянні з неохолоджуваними. Збільшення витрати охолоджуючої води підвищує експлуатаційні витрати. Тож при виборі типу компресора для заданих умов роботи в кожному випадку необхідно виконати економічні порівняльні розрахунки для неохолоджуваного і охолоджуваного компресорів. Приблизно можна сказати, що при стисканні повітря в відцентровому компресорі недоцільно застосовувати проміжне охолодження при ступені підвищення тиску менше 3.

Внутрішнє охолодження. Внутрішнє охолодження повітря може бути здійснене двома шляхами: уприскуванням в потік повітря охолоджуючої рідини або газу між робочими колесами (охолодження уприскуванням або контактне охолодження) і відведенням тепла від повітря при його русі по напрямним апаратам ступенів.

В першому способі найчастіше використовують рідину. При цьому охолодженні рідину, яка уприскується як правило в місці повороту потоку між дифузором та зворотним направляючим апаратом, випаровується; охолоджується при цьому газ за рахунок тепла випаровування рідини. Може уприскуватися, наприклад, вода при стисненні повітря, слабкий розчин азотної кислоти при стисненні нітратного газу, рідкий аміак при стисненні газоподібного аміаку.

Перевагами цього способу є висока ефективність, простота, а також спрощення конструкції турбокомпресора. Також крім економії потужності, охолодження уприскуванням в порівнянні з зовнішнім і внутрішнім водяним охолодженням має ряд таких переваг: краще очищення газу від сторонніх частинок сміття, які відносяться газом, промивка повітряних каналів від відкладень періодичною продувкою та посиленням підводом рідини при відкритих дренажних люках.

Теоретично цей спосіб здається дуже вигідним (при невеликих ступенях підвищення тиску особливо), однак при практичній його реалізації стикаються з багатьма труднощами. Для того щоб уникнути порушення потоку газу краплями рідини, яке призводить до зниження ККД, потрібно швидко випаровування рідини на досить короткому шляху. Можна досягти цього, наприклад, уприскувати рідину під дуже високим тиском (приблизно 10 МН/м^2) і застосуванням великої кількості форсунок; але і те, й інше практично важко здійснюється. Тому при охолодженні уприскуванням дійсні результати завжди гірше, ніж при теоретичних розрахунках.

При другому способі охолодження всередині кожного ступеня для відводу тепла від повітря передбачаються порожнини, де протікає охолоджуюча вода. Зазвичай для поліпшення тепловідводу ці порожнини мають перегородки, а напрямні апарати – велику кількість тонких лопаток, які виконують роль ребер поверхонь охолодження. До недавнього часу таке охолодження застосовувалося дуже широко. Волога з газу при цьому способі зазвичай не випадає, що важливо при стисненні газів, які агресивні у вологому стані. Але щоб створити достатню поверхню охолодження осьові і особливо радіальні розміри машини необхідно сильно збільшувати. Через збільшення шляху газу знижується газодинамічний ККД. Необхідну поверхню охолодження особливо важко створити при великій об'ємній продуктивності. Недоліками застосування охолодження за допомогою водяних сорочок є складний їх демонтаж та очищення водяних каналів від відкладень накипу. Для турбокомпресорів з внутрішнім охолодженням такого типу характерні збільшені габарити, значно ускладнена конструкція турбокомпресора. Тому останнім часом цей спосіб охолодження застосовується рідко.

Зовнішнє охолодження. У сучасних машинах застосовується зовнішнє охолодження. При цьому охолодженні газ після стиснення в секції надходить в проміжний холодильник, де охолоджується водою, а після холодильника газ знову подається в компресор.

Проміжний холодильник найчастіше представляє собою кожухотрубний апарат, який працює під тиском. В цей апарат, зварений з котельної сталі, вставлен пучок труб. В трубках протікає охолоджуюча вода, а в міжтрубному просторі - охолоджуваний газ. Кількість проміжних холодильників залежить від типу машини і її призначення, ступеня підвищення тиску. Основна перевага зовнішнього охолодження, перед внутрішнім – більш інтенсивне охолодження газу, так як поверхня охолодження може бути набагато більше. Якщо засмітиться проміжний холодильник на стороні газу або води, то немає потреби в тривалій зупинці компресора. В такому випадку пучок труб замінюється запасним, а основний пучок підлягає очищенню. Зовнішня поверхня трубок при очищенні обдувається стисненим повітрям або паром, а внутрішня (з боку води) очищається щітками або протягуванням спеціальної каліброваної кульки; також застосовується хімічне очищення.

Контактне охолодження. Окремої уваги заслуговує контактне охолодження. Суть контактного охолодження полягає в безпосередньому контакті стисненого повітря та охолоджуючого середовища. Буває зовнішнє та внутрішнє. Внутрішнє контактне охолодження було розглянуто вище.

Охолодження стисненого повітря за принципом безпосереднього контакту усуває недоліки, які властиві кожухотрубним холодильникам, і має перед ними інші переваги, а саме: менший майже в два рази гідравлічний опір, більший в кілька разів коефіцієнт теплопередачі, простіше по конструкції, велику (на 15-20%) ступінь охолодження повітря. Лише по питомій витраті охолоджуючої води (7 л/м^3) цей апарат поступається кожухотрубному, у якого ця витрата 4 л/м^3 .

При зовнішньому контактному охолодженні в якості повітроохолоджувачів можливе використання відомих конструкцій теплообмінників.

Перевагами контактних теплообмінників над поверхневими є: зниження металоемності та корозійно-ерозійного зносу, відсутність відкладень, підвищення надійності та температури нагрівання теплоносіїв тощо. Це все зумовлює широке застосування цих апаратів у промисловості та перспективність використання їх в об'єктах нової техніки. Контактні теплообмінники складаються з таких основних елементів: камер гріючого та нагріваемого середовища, пристроїв для розподілу та взаємодії теплоносіїв в об'ємі апарату, корпусу. Також необхідні пристрої подачі та відведення теплоносіїв (газодувки, насоси, транспортери тощо) для функціонування теплообмінника. Контактний теплообмінник є системою взаємодіючих елементів, водночас він взаємодіє з агрегатами, які забезпечують подачу та відведення теплоносіїв, та з іншими апаратами технологічних систем, в яких цей апарат функціонує. Таким чином, контактний теплообмінник, будучи елементом технологічних систем, є системою взаємодіючих елементів (процесів).

За конструктивними ознаками контактні теплообмінники поділяють на порожнисті, з трубою Вентурі, барботажні, занурювального горіння, тарілчасті, з нерухомою, рухомою і регулярною насадкою, із зустрічними струменями, із зовнішнім підведенням енергії.

Порожнисті теплообмінники бувають бризкального, розпилювального та інших типів. Теплоносії рухаються в них прямострумом або протитечею. В порожнистих апаратах типу "газ - рідина" при швидкості газів $1-5 \text{ м/с}$ гідравлічний опір становить $3,3-10 \text{ кПа}$; тиск у форсунках дорівнює $0,1-3,5 \text{ МПа}$. Різновидом порожнистих теплообмінників є циклонні, з трубою Вентурі, в яких рідина розпилюється потоком. Потік рідини розпорошується у вужчому місці труби з форсунок або зрощує стінки труби. Вартість труби Вентурі низька, витрата енергії газу велика - $0,05 \text{ кВт/м}^3$. Гідравлічний опір труб Вентурі складає $4-5 \text{ кПа}$. Один з різновидів таких апаратів є апарат з розподільчим диском (плівкоутворювачем), встановлений в трубу Вентурі. Потоком газу тонка плівка рідини підхоплюється та дробиться. Диск переміщується по осі труби, що дає можливість при зміні витрати газу підбирати оптимальні умови роботи. Недоліком апаратів із трубою Вентурі є відсутність можливості організації протиточного руху теплоносіїв, але цей недолік частково усувається, коли використовуються багатоступінчасті схеми.

До бризкальних апаратів відносяться відкриті апарати. В цих апаратах рідина розподіляється за допомогою форсуноквих або відцентрових розпилювачів і рухається під дією сили тяжіння у вигляді крапель.

Широкого розповсюдження отримали барботажні теплообмінники типу рідина – рідина, пара – рідина, газ – рідина. Одним з різновидів таких теплообмінних апаратів є апарат занурювального горіння.

У промисловості широко використовують барботажні апарати, які не заповнені насадкою та в нижній частині обладнані пристроєм (сопла, перфоровані ґрати, пористі плити та ін) для диспергування потоку рідини або газу, що надходить знизу.

У тарілчастих апаратах один із теплоносіїв надходить у верхню частину теплообмінника і рухається вниз під впливом сили тяжіння від тарілки до тарілки через отвори в них, а інший теплоносієм переміщається за допомогою сил тиску чи архімедової сили. В тарілчастих апаратах «газ-рідина» гідравлічний опір по газу становить 3,3-13,5 кПа на одну тарілку. Гідравлічний опір в них невеликий, а коефіцієнти тепломасопередачі високі. Теплообмінники тарілчастого типу – найпоширеніші. Існує багато конструкцій таких апаратів: ковпачкові, з сітчастими сегментними тарілками, клапанні, провальні (без переливних пристроїв), поличкові та ін.

У насадочних апаратах теплоносії контактують при проходженні через шар нерегулярних насадок різних розмірів, форми, матеріалів. Найчастіше ці апарати мають вигляд вертикальних колон з протиточним рухом теплоносія.

Перспективними (особливо для систем "газ – тверді частинки", "газ – рідина") є контактні теплообмінники із зустрічними потоками.

Теплообмінники із зовнішнім підведенням енергії також мають широке використання. Найчастіше вони застосовуються для систем "рідина - рідина". Вони являють собою апарати із механічними мішалками у найпростішому випадку. Використовують також відцентрові, ротаційно-дисккові, барабанні та інші апарати з механічним перемішуванням.

В результаті пошуків покращення охолодження стисненого повітря розроблено барботажно-розпилювальний апарат [13]. В цьому апараті охолодження відбувається за новим принципом - безпосереднім контакті гарячого стисненого повітря і охолоджуючої води. Зразок апарату, який виготовили в кафедральній майстерні, досліджували в лабораторії, а в 1968 р.- в напівпромислових умовах. Метою цього дослідження було вивчення процесу теплообміну, а також визначення основних характеристик охолоджуючого апарату - витрати охолоджуючої води, коефіцієнта теплопередачі, гідравлічного опору проходженню стисненого повітря, ступеня охолодження та інших показників. Недоліком цього апарату є високий гідравлічний опір.

В роботі [14] вперше обґрунтовано, що більш ефективним є застосування контактних повітроохолоджувачів з охолодженням і осушенням стисненого повітря. Цей метод поєднує переваги внутрішнього і зовнішнього випарного способів, але не має їх недоліків. Контактний охолоджувач повітря труба Вентурі – відцентровий сепаратор [15] включає в себе змішувальний пристрій у вигляді труби Вентурі, сепаратор крапельної вологи і поплавковий регулятор рівня. Холодну воду подають в змішувальний пристрій, де вона розпорошується потоком нагрітого повітря та змішується з ним. В утвореній повітряно-водній суміші відбувається інтенсивний тепломасообмін, при якому повітря охолоджується, а вода нагрівається. У сепараторі центробіжною силою крапельна вода відкидається до периферії і з частиною повітря через кишню поступає у вільний простір. Там швидкість повітря зменшуючись становиться нижче величини вітання крапель, після цього він зливається з головним потоком сухого охолодженого повітря. Відокремлена в сепараторі вода потрапляє самопливом у регулятор рівня, що забезпечує відведення її з підтримкою гідравлічного затвора в градирню для охолодження. За допомогою розробленої математичної моделі контактного повітроохолоджувача [16] було визначено раціональні параметри для номінального режиму роботи турбокомпресора та нормальних початкових умов [17]. Тому потрібні додаткові дослідження для встановлення параметрів контактних повітроохолоджувачів для режимів роботи турбокомпресорів відмінних від номінальних. Це забезпечить подальше зменшення питомих витрат електроенергії на виробництво стиснутого повітря. Практична реалізація підтримки таких параметрів можлива при застосуванні труби Вентурі з регульованим перетином горловини.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Таким чином, проаналізувавши методи охолодження стисненого повітря турбокомпресорів, можна відмітити, що кожен з методів має свої переваги та недоліки, але застосування контактного охолодження має ряд вагомих переваг на відміну від інших, що робить його одним з найефективніших методів. Перспективним апаратом для охолодження стисненого повітря в турбокомпресорах є труба Вентурі – відцентровий

сепаратор. Такий апарат поєднує високий тепломасообмін і відносно невеликий гідравлічний опір. Але раціональні параметри контактних повітроохолоджувачів визначено тільки для номінального режиму роботи турбокомпресора при нормальних початкових умовах, тому необхідні додаткові дослідження для встановлення параметрів контактних повітроохолоджувачів при режимах відмінних від номінальних.

В подальшому планується проведення досліджень які полягають у визначенні раціональних параметрів контактного повітроохолоджувача для всіх режимів роботи турбокомпресора, та удосконаленню конструкції контактного повітроохолоджувача.

Список літератури

1. Трегубов В.А. Замыцкий О.В. Оценка энергопотерь от нарушений температурных режимов турбокомпрессорных установок. Гірнична електромеханіка та автоматика 2. Дніпропетровськ.1999. № 61. С. 130-132.
2. Мурзин В. А., Цейтлин Ю. А. Рудничные пневматические установки. Недр.1965. 312 с.
3. Мурзин В. А., Цейтлин Ю. А. Турбокомпрессоры в горной промышленности. Госгортехиздат. 1962. 72 с.
4. Мурзин В. А., Цейтлин Ю. А. Определение экономически целесообразной периодичности очистки промежуточных воздухоохлаждателей шахтных турбокомпрессоров. Горная электромеханика и автоматика.1980. Вып. 36. С. 65–68.
5. Мурзин В. А., Цейтлин Ю. А. Упрощенный пересчет характеристик турбокомпрессоров при промышленных испытаниях их. Изв. вузов МВ и ССО. Энергетика. 1962. № 11. С. 21-25.
6. Мурзин В. А., Цейтлин Ю. А. Рудничные пневматические установки. Недр. 1965. 312 с.
7. Степанов А. И. Центробежные и осевые компрессоры, воздухоудвки и вентиляторы. Пер. с англ.– М.: Машгиз, 1960.–342 с.
8. Борохович А. И., Борохович Б. А., Закиров Д. Г. Оптимальный срок очистки промежуточных пленочных холодильников поршневых компрессоров от осадков. Изв. вузов. Горный журнал. 1985. № 2. С.61–65.
9. Центробежные компрессорные машины. Ф. М. Чистяков и др.; под ред. Ф. М. Чистякова. Машиностроение, 1960. 327 с.
10. Рис В. Ф. Центробежные компрессорные машины. Машгиз. 1951. 245с.
11. Носырев Б. А., Рыбин А. А. Математическое моделирование систем охлаждения шахтных компрессорных установок. Изв. вузов. Горный журнал. 1992. № 1. С. 92–95.
11. Мишин Д. С., Прасс И. Г., Пунтусов А. П. Термодинамический анализ работы концевого холодильника компрессора К250-61-1. Труды ЛПИ им. Калинина. Центробежные компрессорные машины. Энергомашиностроение. 1962. № 221.С. 106–109.
12. Шерстюк А. И. Компрессоры. Госэнергоиздат, 1959. 191 с.
13. . Куцепаленко В.Ф., Кабаков А.И., Тихонов Б.А. Повышение эффективности охлаждения сжатого воздуха в компрессорах. Известия Томского ордена октябрьской революции и ордена трудового красного знамени политехнического института имени С.М. Кирова.1972. № 227.С. 119-124.
14. Замыцкий О.В. Анализ способов охлаждения при производстве сжатого воздуха для горных машин. Горный информационно-аналитический бюллетень. МГГУ. 2001. №10. С.67-70
15. Замыцкий О. В. Контактное охлаждение сжатого воздуха в турбокомпрессорах. Вісник Криворізького технічного університету.2005. №17. С. 285-288.
16. Замыцкий О. В. Моделирование характеристик центробежных турбомашин. Сб. научн. тр. Национальной горной академии Украины. Том 3. Дніпропетровськ: Навчальна книга, 2002. № 13.С.33–36.
17. Замыцкий О.В. Выбор параметров контактных воздухоохлаждателей рудничных турбокомпрессоров. Вісник Криворізького технічного університету: 36. наук. пр. Вип. 6. Кривий Ріг: КТУ, 2005. С.85-88

UDC 004.056.53

N.O. KARABUT, O.H. RYBALCHENKO, I.O. DOTSENKO, Senior lecturers
Kryvyi Rih National University

PROTECTION TECHNOLOGY OF DATA PROCESSED IN DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS

Purpose. To solve the problem of protecting information from unauthorized access in any information system which is based on control and delimitation of access rights of subjects to protected objects, primarily to file objects designed to store processed data.

Research methods. The implementing access control is to use one of the abstract models like discretionary, mandated and role-based access control.

Scientific novelty. An innovative approach to protecting data processed in distributed information systems through the methods of access control to the objects being created – to the file objects and to the clipboard. Those allow to exclude the access object from the delimiting policies because of automatic markup of created objects.

Practical significance. Practical implementation of this approach, provided that the markup (created attributes) directly in the created file allows to identify and solve the problem of implementing the delimiting policy of access to data processed in a distributed information system by considering different ways of data exchange between components of a similar system. This implements data flow management within the system.

Results. The considered data protection technology in the information system based on the use of access control methods allows: to get a new property of delimiting access policy in a distributed information system by using different methods of data exchange between components/computers; to increase the efficiency of the information security system by managing data flows in the system.

Key words: distributed information system, data protection, unauthorized access, control and delimitation of access rights, delimiting policy, object created, data flow management.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-112-118

Problem statement. Protecting information from unauthorized access in any information system is based on control and delimitation of access rights of subjects to protected objects (access control), primarily to the file objects, since they are designed for storage of processed data. There are different ways of exchanging data - files- between the components (computers) of the distributed information system.

This determines the urgency of managing data flows in a distributed system, when transferring a file from one computer information system to another the access rights to the file are transferred with it. As a result, the other computer has the rights set by the delimiting access policy to files transferred between computers. The delimiting access policy should be set within the system, not a single component (computer) of the distributed information system. Since encryption is the widely used method in the practice of additional protection of data processed in the information system, it applies to cryptographic data protection aimed at managing encrypted data flows in a distributed information system.

Analysis of the recent research and publications. Principles of access control to the created objects.

Access control is to use one of the relevant abstract models [1, 2].

Currently, the most widely used models are discretionary, mandated and role-based access control.

Discretionary Access Control (DAC) implies the Happison-Puzzo-Ullman model [3]. The basis for constructing a delimiting access policy is the task of the administrator of the access matrix including the rules of subject-to-object/object-to-subject access. The task is implemented by transposing the access matrix. The DAC method can be arbitrary or forced for users to manage data flows depending on whether the unprivileged user is included as the "owner" of the created object in the administration scheme [4].

Mandatory Access Control (MAC) is based on the abstract Bella-LaPadula model [5]. The access control with forced management of information flows is based on the formalization of the task, rules under security labels (mandates) - numerical values that reflect the corresponding security of subjects (access levels) and objects (privacy levels) in a hierarchy. Each subject and object of the system is assigned a certain security - a security label. The delimiting access policy involves an arithmetic comparison of the labels based on the original specified rule.

The idea of *Role-Based Access Control* (RBAC) [1] lies in the maximum approximation of the logic system to the real division of personnel functions in the organization. The method defines roles in the system as a set of actions and responsibilities associated with the activity. In fact, the role model is discretionary access control in implementing the relevant group access policy (delimiting policy for user groups). The advantages of this model include the possibility of a certain formalization of roles, hence, the possibility of setting and further replicating some typical delimiting access policies for the respective roles. Thus, the basic ones include abstract models of discretionary and mandated methods of access control.

Objectives of the article. Here, both the existing abstract models of access control and technical solutions that implement them use two equal entities - the subject and object of access. The purpose of the rules involves what access rights subjects to objects (or vice versa) have. The subjects of access in the delimiting policy are users identified by accounts in relation to users to the rules set, the actions that might cause harm.

Presentation of the main research and results. The tasks of data processed protection in the information system include the protection of user-generated objects (files and clipboard), since the objects are to store data processed in the system. This focus on the completely new approaches and new methods of access control that eliminate the shortcomings of known methods for solving this problem. [6].

The proposed principles of access control to the created objects [6] are based on their automatic markup when creating or modifying an object. Also, they eliminate the essence of access object from the delimiting access policy. They are as follows:

the "object" is excluded from the access control scheme, when the delimiting policy uses two entities: the subject identifier (account information) created by the object, and the subject identifier requesting access to the created object;

access rules are established between: access subject (account information) requesting access to the object, and access subject (account information) that created this object;

when creating /modifying the subject of the object, the object gets the account information of the access subject, who created this object - the object is marked (account information of the subject is stored in the attributes of the object created);

when requesting access to any object, the access manager (a key element) receives the markup of the object, reading its attributes, and analyzes the request for irreversibility of the specified access rules, resulting in the requested entity access to the object or refuses it.

Thus, the delimiting policy is implemented (access rules are set) between access subjects to objects created by them, not subjects to objects.

The access control to created objects. The Mandatory Controls Access method to created files. The security labels (access levels) or mandates are assigned exclusively to (interactive) users [8]. The access level can be set /selected for any user entered the system. However, only file creators receive security labels, access to which is controlled and delimited (data processed by the users is to be protected).

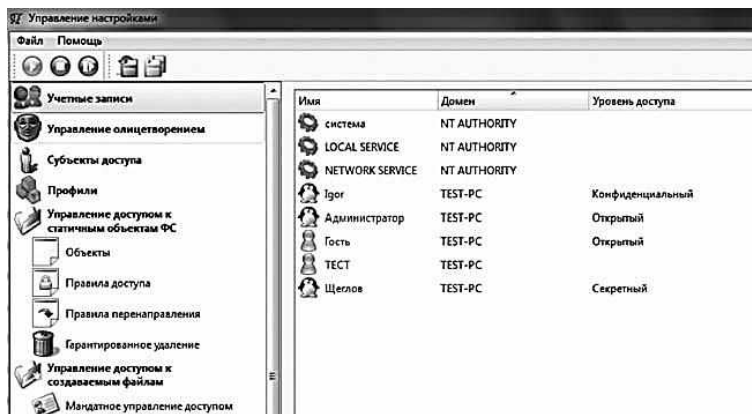


Fig.1. The delimiting access policy of the Mandatory Access Control method to the created files

Note that the configuration of the delimiting access policy does not require the assignment of security labels to the file objects that causes the key gaps of the MAC method (special challenges in inclusion in the system object control scheme).

Consider the Access Manager.

Security labels are assigned to controlled users creating files which require delimiting access rights. The access manager automatically marked a file created by any user: the attributes of the file automatically include the account information of the entity (access level - the mandate) created the file. Similarly, the previously unmarked file is marked when modifying a controlled user.

Accessing the file created during the system operation, the access manager analyzes markup in the file; if it is available (access rights are not delimited), the manager analyzes the compliance of the request with the mandate rules of file access and the file got from the user.

Note that the primary advantage of this method, including simplifying administration, is the correctness of the mandate scheme of access control in the general case. In any folder and conditions, the created/modified file is clearly marked and subjects to the specified delimiting access policy for further requests.

The Discretionary Access Control method to the created files. The DAC method can address the most pressing current issues of information security: anti-malware protection (attacks to increase the privileges of running a malicious program with the systems and system rules).

Three entities identify the access subject [9]:

source user ID launching it;

effective user ID addressing the object;

process (full-track name of the process file) is specified within the interface.

When setting the user ID -primary and effective, a mask "*" can be used- "Any" (the specified rules apply to all users). The process name can be specified either by the full-track name of its processed file or by a mask (use environment variables). For example, the mask C: \ ProgramFile \ * covers all processed files, the mask "*" specifies that the rule applies to any process. The rules for accessing the created files are set by the administrator from the interface and are displayed in the interface.

Note that the assigned access rights do not include the "in response" right. By default, the ban on the created files execution is an effective protection against malware [10]. The task of the delimiting access policy is as follows. The controlled access subjects are set from the list of specified access subjects in the field "Select creators".

The file creator is assigned access rights to other subjects' files created for the selected controlled subject.

To this effect, they select the entity to which access rights belonged in the "Select access entities" field. The relevant access rights-read, text, delete, rename- are allowed or denied for the selected pair of subjects in the left and right fields of the interface. The specified rule is displayed in the corresponding line in the interface.

The access manager operates like in the mandatory method, except that the access rules for the request correctness analysis are selected from the appropriate access matrix. A key difference in creating files and not controlled by users is they must be marked/identified in order to prevent their further execution including system rights.

The specific feature of the control access method for creating files (according to the data) is the ability to isolate (according to the processed data) the operation of critical applications [11].

The MAC and DAC mechanisms can operate together when implementing the delimiting access policy to the created files. The request for access is authorized if it contradicts neither the mandate nor the discretionary rules of access. The access manager analyzes first the mandate rules of access, then discretionary.

These methods significantly cover a number of other methods of data protection including guaranteed deleting. Here, the rules of guaranteed deletion should be set for access subjects creating files, which in any folder should be deleted, not for folders in which saved files are automatically deleted [12]. To be sure, the simple administration and the correctness of the task protection is relevant. A guaranteed deletion rule for folders requires for setting it for all storage folders of temporary files created by most applications since they store protected data as residual information.

Encryption and control access method to the encrypted files being created. The MAC, DAC or both methods to the created files are to address the problem of forcible storage of information encrypted for access subjects. When setting up a file encryption policy, you need to specify access objects with MAC or security label - credentials. Encryption keys are also to be assigned to the entities. The open (not secret) account information of the subject stored as an attribute of the created/modified file is enough to select the encryption key to decrypt the file. The technical solution is patented [13].

Clipboard access control. The clipboard is intended for temporary storage of data used to exchange data applications; when the administrator sets the delimitation access policy, we have not yet created this data. Control and delimitation of access to created objects written to the clipboard apply the above principles of control and delimitation of access rights.

Here, the discretionary access control includes access process in the subject, but with some reservation.

Between the accounts, the system by default differentiates the clipboard access right. The delimiting applies to sessions of different users. If you start the process with the rights of another account in one session (without rebooting the system or changing the user), for example, using the utility "runas", the clipboard between accounts is not delimited - this case should be avoided.

As for implementing the DAC method to the clipboard, note that it is completely similar to the method of access control to the created files. Access rules - permission or ban on receiving information from the clipboard - from the interface are shown in Fig. 2. The access manager operates similarly.

Thus, the above methods as protection mechanisms implement completely isolated data processing as individual/grouped users and individual applications/application groups in the system.

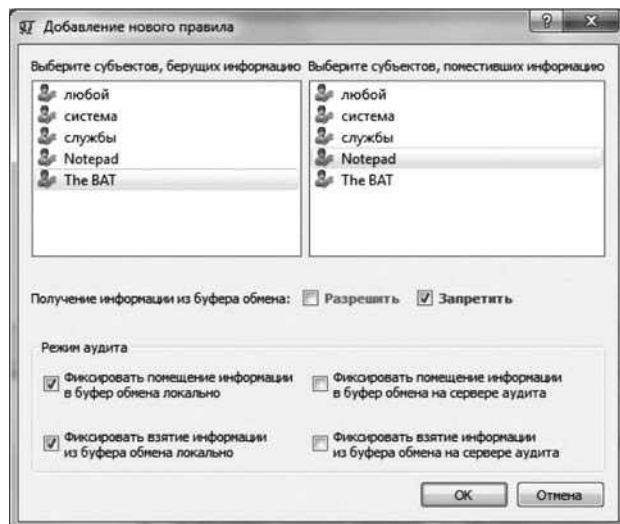


Fig. 2. The rules for accessing the clipboard

network. In both cases, the transferred file is an object to which the access rights of the subjects are to be differentiated on all computers in the distributed information system. The delimiting access policy is implied for the distributed information system, but not for an individual computer.

Each created file mapped to the account information of the creator of the access subject (the subject ID or security label, possibly both, depending on the method of control and access) allows control and delimitation of access rights. The manager uses the account information as an attribute of the file, when analyzing the request for consistency of the specified delimiting access policy. When implementing a delimited access policy for a distributed information system, file attributes stored directly in the file allow them to be transferred together with a similarly marked file between the information system computers.

Below are the possible delimiting access policies considering the control access methods implemented in the system to the created files.

A delimiting access policy based on security labels (access level) is quick to set up. The access levels (quantitative values) are posted as attributes in the files. A list of access levels and arithmetic comparison rules of security labels are created for the distributed information system. When creating a user on each computer, he is assigned an access level from the list specified for the system. Here, under the implemented technology of distributed information processing on individual computers of the system, information of not all levels of access can be processed. As a result, users on one of the system's computers may be assigned not all access levels from the full-list system.

How to ensure access control in this case. Any file, created during the system operation either on the computer of a creator or on the computer to which it is transferred over the network, receives a label security of the user who created it. Hence, access to it on any computer is possible only within the delimiting policy set for the information system. This extends to encryption - a user can decrypt a file with the appropriate level of access - security label, because the encryption keys are assigned to security labels, not specific users.

The clipboard access control as an object is necessary for inter-machine data exchange in the information system in files.

The possibility to modify the attribute of the file transferred to another computer naturally requires for the correct access control method. Below is the example how to meet the requirement. Let the data be transmitted over the network using e-mail through the application "The BAT". You need to allow this application to read only data written to the clipboard, which is configured from the interface (data transfer is possible only by transferring the appropriate file). The e-mail and the attached file transfer to the remote computer and are automatically saved by the application in the appropriate file. The markup of the newly created file marks the application is running; the further access to the letter is available for the user who has the level of access. Thus, we have a marked file which contains a letter including an attachment in the appropriate format received by mail from another computer. If you are about opening the file attached to the letter, "The BAT" application prompts the user to either save or open the file. If you are about saving the file, it is saved/created in the place selected by the user. As a

Note that the use of the proposed access control methods to the created objects enable to consider data protection and system objects as completely different protection tasks, in its formulation changes the requirements for many security mechanisms - not only control access. This allows us to suggest a new technology for protecting data processed in the information system.

The problem of protection. Technology of data protection processed in distributed information systems.

Distributed information system involves several computers processing information within a single system and exchanging data between them. File data can be transferred both using external file drives and over the

result, the original markup of this file changes - its new markup shows the security label of "The BAT" user. We must prevent this change in attributes. If you open the file, "The BAT" application creates a temporary file, which will then be read by the application- the editor "Word". The markup of the source file changes, which in both cases is created on a remote machine by "The BAT" application

To solve this problem, you can prevent "The BAT" application to mark the attachment files (not e-mails) created in the appropriate service folder. The administrator should specify programs and folders that will be/will not be marked in these folders depending on the delimiting policy.

Here, the DAC method is implemented similarly, the only variance reflects the content of the attributes of the files created, including the transferred files between computers, and, the method of analyzing access rules. The delimiting access policy in the distributed information system significantly expands possibilities for the "computer ID" (name) to be included in the subject of access. Thus, the users registered on different computers of the system with the same names/accounts can uniquely identify in the delimiting access policy. A delimiting access policy in the distributed information system is far more difficult than in the mandated access control, however, substantially broadens practical possibilities due to the delimitation of access rights between applications used in the distributed information system.

Conclusions and direction of further research. The data protection technology in the information system with the use of access control methods enables- the new property of the delimiting access policy in a distributed information system by using different methods of data exchange between components/ computers; -the efficiency of the information security system by managing data flows in the system.

The data protection technology is to be realized in terms of different operating systems. The paper covers the tested hands-on application [14], which implements data protection technology within the operating system of the Microsoft Windows family.

References

1. **Девянин П. Н.** Модели безопасности компьютерных систем. М.: Издательский центр "Академия", 2019.
2. **Цирлов В. Л.** Основы информационной безопасности автоматизированных систем. Р.: Феникс, 2019.
3. **Harrison M., Ruzzo W., Ullman J.** Protection in operating systems // Communication of the ACM. 1976. V. 19, N. 8. P. 461—471
4. **Щеглов А. Ю.** Защита компьютерной информации от несанкционированного доступа. СПб.: Наука и техника, 2019.
5. **Bell D. E., LaPadula L. J.** Security Computer Systems: Unified Exposition and MULTICS Interpretation. Revision 1, US Air Force ESD-TR-306, MITRE Corporation MTR-2997, Bedford MA, March 1976.
6. **Щеглов К. А., Щеглов А. Ю.** Принцип и методы контроля доступа к создаваемым файловым объектам // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 7. С. 43—47.
7. **Щеглов А. Ю., Щеглов К. А.** Система контроля доступа к файлам на основе их автоматической разметки. Патент на изобретение № 2524566. Приоритет изобретения 18.03.2013.
8. **Щеглов К. А., Щеглов А. Ю.** Реализация метода мандатного доступа к создаваемым файловым объектам // Вопросы защиты информации. 2013. Вып. 103, № 4. С. 16—20.
9. **Щеглов К. А., Щеглов А. Ю.** Практическая реализация дискреционного метода контроля доступа к создаваемым файловым объектам // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2013. № 4. С. 43—49.
10. **Щеглов К. А., Щеглов А. Ю.** Защита от вредоносных программ методом контроля доступа к создаваемым файловым объектам // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 8. С. 46—51.
11. **Щеглов К. А., Щеглов А. Ю.** Защита от атак на уязвимости приложений // Информационные технологии. 2014. № 9. С. 34—39.
12. **Щеглов К. А., Щеглов А. Ю.** Принципы реализации дополнительной защиты информации при контроле доступа к создаваемым файловым объектам на основе их автоматической разметки // Вопросы защиты информации. 2014. Вып. 104, № 1. С. 29—34.
13. **Щеглов А. Ю., Щеглов К. А.** Система контроля доступа к шифруемым создаваемым файлам. Положительное решение на выдачу патента на изобретение по заявке № 2013129406/ 08(043781) от 26.06.2013.
14. **Щеглов А. Ю., Щеглов К. А., Павличенко И. П., Корнетов С. В.** Комплексная система защиты информации "Панцирь+" для ОС Microsoft Windows. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2014660889 от 17.10.2014. Правообладатель ЗАО "НПП "Информационные технологии в бизнесе".

УДК 621.311.4.031

О.М. СІНЧУК, А.І. КУПІН, доктори техн. наук, професори, І.О. СІНЧУК,
М.Л. БАРАНОВСЬКА, кандидати техн. наук, доценти, К.І. БУДНІКОВ, аспірант
Криворізький національний університет

ДО РОЗРОБКИ АЛГОРИТМУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИМ КОМПЛЕКСОМ З РОЗДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЮ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТ

Мета. Розробка логістики формування економіки «дорожньої карти» підвищення електроенергоефективності видобутку залізорудної сировини гірничорудними підприємствами шляхом застосування автоматизованих керованих електроенергетичних комплексів на основі систем електропостачання з розподіленою генерацією електричної енергії.

Методи дослідження. В науковій статті використовуються аналітичні та експериментальні методи досліджень: аналітичні методи включають теорію ймовірності та математичну статистику, математичне моделювання; експериментальні методи – теорію планування та проведення експерименту.

Наукова новизна. Розробка автоматизованої системи керування (АСК) енергопотоків залізорудних шахт, яка керує (розподіляє) потоки електричної енергії між споживачами в годинах доби не порушуючи технології функціонування підприємства (варіант «споживач-регулятор» електричної енергії) та визначає й регулює режим живлення споживачів в відповідні періоди часу (варіант «споживач-генератор» електричної енергії).

Практична значимість. В собівартості видобутку залізорудної сировини енергетична складова сягає 30 % та має тенденцію до постійного зростання. Тому актуальними питаннями є шляхи підвищення енергоефективності роботи залізорудних шахт як складової гірничо-металургійної галузі України.

Результати. Дослідження авторів дозволило розробити логістику формування економіки «дорожньої карти» підвищення електроенергоефективності видобутку залізорудної сировини шахти шляхом застосування автоматизованих керованих електроенергетичних комплексів на основі систем електропостачання з розподіленою генерацією електричної енергії. Розглянуто питання реалізації автоматизованого керування електричною мережею з можливістю розподіленої генерації електричної енергії.

Використання двоставкового тарифу без застосування нечітких автоматизованих систем керування веде до збільшення добових витрат на спожиту електричну енергію при одноканальному регулюванні (водовідведення) та двоканальному керуванні (рудопотік та водовідведення) на 12,88 % та 7,1 % відповідно. Застосування нечітких регуляторів дозволяє компенсувати ці втрати. Застосування автоматизованої системи керування з нечітким триканальним регулюванням (рудопотік, водовідведення та вентиляція) дозволяє скоротити витрати на спожиту електричну енергію на 4,45 % (за даними шахти «Родіна», м. Кривий Ріг).

Моделювання роботи нечіткої автоматизованої системи керування в режимах додаткової гідроакмулюючої генерації електричної енергії показало потенційні можливості для зниження загального енергоспоживання на 15-35% (за двоставковим тарифом) в умовах залізорудних шахт.

Ключові слова: залізорудна шахта, електроенергетичний комплекс, автоматизована система керування, багатоканальне керування, гідроакмулюючі генерації

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-118-126

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Базовим сегментом макро- та мікроекономіки України є продукція гірничо-металургійного виробництва. В свою чергу в цьому галузевому комплексі домінуючою є продукція гірничорудних підприємств – залізорудна сировина (ЗРС).

З ряду, як природних, так і штучних, факторів собівартість видобутку ЗРС на вітчизняних гірничорудних підприємствах постійно зростає. Основною причиною такого «зростання» є збільшення глибин видобутку та зростання цін на енергетику [1, 2].

Аналіз свідчить [3], що у загальному комплексі складових собівартості видобутку ЗРС вітчизняними гірничорудними підприємствами на даний період часу енергетичний сегмент в середньому сягає біля 30%, з тенденцією до постійного зростання. Таким чином, економіка електроенергетики гірничорудних підприємств – основа стану економіки даних підприємств взагалі і без реального рішення проблеми підвищення енергоефективності видобутку ЗРС не може бути позитиву в функціонуванні всієї галузі промисловості.

Аналіз досліджень і публікацій. Процес підвищення енергоефективності гірничорудних підприємств являє собою непросту для практичної реалізації проблему. Головним моментом у загальній структурі складності рішення є унеможливлення отримання узагальненого комплекс-

ного управлінського рішення – єдиного для комплексу всіх споживачів з врахуванням повної множини технологічних і технічних факторів гірничого виробництва.

Проте, в будь-якому сучасному трактуванні спрямованості вирішення проблеми підвищення енергоефективності гірничих підприємств, базовим-стартовим варіантом, на котрий повинні будуватись всі інші надбудови, повинні бути структури електричних мереж з розподіленою генерацією електричної енергії (ЕЕ) [4].

Водночас значимо, що реструктуризація систем електропостачання з однієї схеми – централізованої на іншу – з розподіленою генерацією, це ще не вирішення проблеми підвищення енергоефективності гірничих підприємств. Як свідчать дослідження [5-7], для досягнення мети потрібно в структурі електричних мереж з розподіленою генерацією ЕЕ даних видів підприємств забезпечити обґрунтоване, з техніко-економічної точки зору, функціонування автоматизованої системи керування (АСК) розподілом потоків ЕЕ між енергоємними споживачами в годинах доби з визначенням в ці періоди варіантів видів джерел живлення: централізовані (від енергосистеми) або ж власні – автономні. Для розбудови алгоритму функціонування АСК в такому варіанті необхідна комплексна оцінка технологічних параметрів та визначення рівня їх впливу на цей процес з погляду на економічний енергоспрямований кінцевий варіант. Це формує логістику досліджень: отримання реальних параметрів функціонування комплексів: «енергопостачання – енергоспоживання» з метою розробки алгоритму роботи АСК згідно встановлених енергоорієнтованих режимів їх роботи.

Реалізація такого проєкту в умовах діючих гірничих підприємств – задача непроста, оскільки, окрім ряду організаційних перешкод на цьому шляху, додатковим важелем в проблемності розбудови технології функціонування АСК виступають фактори, що впливають на рівні споживання ЕЕ комплексом споживачів і котрі не є постійними, а в більшості своїй – непрогнозовані у межах своїх змін. Тобто, у превентивному варіанті логіка розбудови комплексу АСК «енергопостачання - енергоспоживання гірничорудних підприємств» повинна орієнтуватися на системи з штучно-інтелектуальною логікою керування.

Питання керованості електроенергетичних комплексів гірничих підприємств та прийняття управлінських рішень з акцентом на економічну складову цього процесу стимулює напрямок наукового пошуку, залучаючи до цього науковців різного фаху багатьох держав світу [8, 9].

Все це дозволяє стверджувати, що спрямованість досліджень актуальна. Між тим, як у вітчизняних, так і в ряді інших доступних авторам публікаціях, відсутні або недостатньо висвітлені посилання з оцінки реального стану споживання ЕЕ та рівень впливу на цей процес конкретики технології об'єкта енергоспоживання, для якого вівся пошук. Цей факт в значній мірі унеможливорює оцінювання рівня доцільності та, що головне, ступінь реальної ефективності запропонованих рішень з кінцевим варіантом підвищення енергоефективності гірничих підприємств.

Таким чином, можна стверджувати, що адекватного рішення щодо формування «дорожньої карти» підвищення ефективності функціонування споживачів ЕЕ залізрудних підприємств не існує. При цьому, як би це не виглядало тривіально, але запропоновані в [10] цікаві за своєю суттю цілком технічні рішення апріорі не дадуть очікуваного позитиву в практиці роботи гірничих підприємств.

Постановка задачі. Мета дослідження полягає у розробці логістики формування економіки «дорожньої карти» підвищення електроенергоефективності видобутку залізрудної сировини гірничорудними підприємствами шляхом застосування інтелектуально керованих електроенергетичних комплексів на основі систем електропостачання з розподіленою генерацією електричної енергії.

Розглядається питання реалізації інтелектуального керування електричною мережею з можливістю розподіленої генерації ЕЕ в умовах підприємств з підземним видобутком залізрудної сировини. Актуальність питання, постановка завдання та окремі алгоритмічно-програмні рішення розглядалися в роботах [1-5].

Викладення матеріалу та результати. Актуальність питання, постановка завдання та окремі алгоритмічно-програмні рішення в напрямку вирішення локальних задач з аналізованої проблеми розглядалися в тому числі і авторами в ряді робіт [3, 5-7, 11-15]. В даному дослідженні формально мова йде про економічну доцільність доповнення (зміну) формату структури функціонування електроприймачів з варіанту «споживач-регулятор» в варіант «споживач-регулятор-генератор електричної енергії».

З точки зору формалізації завдань керування таким об'єктом, як розподілена енергетична мережа гірничого підприємства, цей процес можна представити у вигляді структурної схеми (рис. 1).

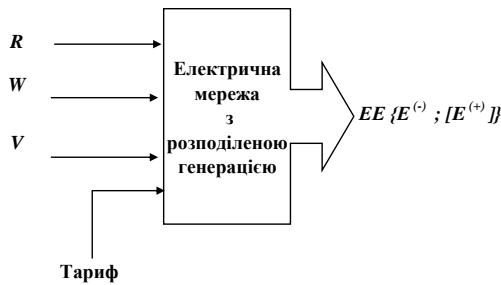


Рис. 1. Структура керування процесом електропостачання-електроспоживання для умов залізорудної шахти (R – видобуток руди; W – витрати води при водовідведенні; V – витрати повітря в режимі вентиляції; $E^{(-)}$ – генерація ЕЕ, $E^{(+)}$ – витрати ЕЕ)

При цьому зазначимо, що в форматі структури АСК електроспоживання можуть і повинні бути присутніми відповідні підсистеми: керування водовідведенням, вентиляцією, видобутку ЗРС [3, 5].

Водночас важливим повинно бути, щоб АСК не тільки керувала (розподіляла) потоками ЕЕ між споживачами в годинах доби, не порушуючи технології функціонування підприємства – варіант «споживач-регулятор» ЕЕ, а й визначала та регулювала режими живлення споживачів в відповідні періоди часу – варіант «споживач-генератор» ЕЕ.

З огляду раціональності виробничої діяльності гірничих підприємств (наприклад, залізорудних шахт або ГЗК) необхідно мінімізувати витрачання ЕЕ з огляду забезпечення енергоефективності (в т.ч. за рахунок власної генерації $E^{(+)}$). З іншого боку, треба забезпечити обов'язковість виконання контрольних завдань з видобутку ЗРС. Враховуючі всі ці фактори у якості критеріїв ефективності роботи інтелектуальної системи керування (АСК), має сенс обрати

$$\left\{ \begin{array}{l} E^{(-)} \Rightarrow \text{Min} \\ E^{(+)} \Rightarrow \text{Max} \\ \bar{R} = \sum_{i=1}^{24} R_i \geq R^* \end{array} \right. \quad (1)$$

де \bar{R} – середньодобовий видобуток руди; R_i – видобуток руди за одну відповідну годину доби ($i=1 \dots 24$); R^* – певне оптимальне значення середньодобового видобутку руди.

Розглянемо можливості побудови узагальненого алгоритму АСК електроенергопотоками для двох актуальних випадків: 1 – вибіркового тарифу з обмеженнями на добове енергоспоживання на підставі угод або 2 – змінного тарифу (наприклад, погодинно/24).

Виходячи із вищезазначених завдань інтелектуального керування енергоспоживанням в умовах гірничодобувних підприємств, авторами було розроблено та апробовано відповідний алгоритм (рис. 2) [3].

Блок №1 інформує про початок роботи АСК.

У блоці №2 здійснюється актуалізація чинної нормативно-правової бази України у сфері споживання та постачання електроенергії. Також тут здійснюється введення первинної інформації (поточних параметрів) відповідно до існуючих критеріїв керування та постановки завдання (1)-(10).

Умовний блок №3 перевіряє, чи є на підприємстві чинна угода (договір) з енергогенеруючою компанією на постачання ЕЕ. Якщо така угода є, то дія алгоритму продовжується з наступного блока (№4). В протилежному випадку (угоди немає) подальші розрахунки можна буде здійснювати на загальних підставах або ініціювати укладання в подальшому такої угоди (тобто, блок №5.1, Кат = {«А»} та далі блок №6).

Аналогічно умовний блок №4 перевіряє, чи є на підприємстві чинна угода (договір) з енерготранспортуючою компанією на транспортування ЕЕ. Якщо така угода є, то дія алгоритму продовжується з наступного блока (№5.2). В протилежному випадку (угоди немає) дія цього алгоритму припиняється, та подальші розрахунки можна буде здійснювати на загальних підставах або ініціювати укладання в подальшому такої угоди.

Блоки №5.1-5.2 дозволяють обрати категорію промислового споживача (зараз це категорії «А» або «Б») (тобто, Кат = {«А», «Б»}).

У блоці №6 передбачається можливість для підприємства обрати (замовити у енергогенеруючої компанії) необхідний тариф на добу (T_d) та запланований обсяг споживання ЕЕ. Замовле-

ний обсяг бажано витримати максимально точно, бо недовиконання чи навпаки – перевиконання замовленого обсягу може бути пов'язано з потенційними економічними втратами підприємства.

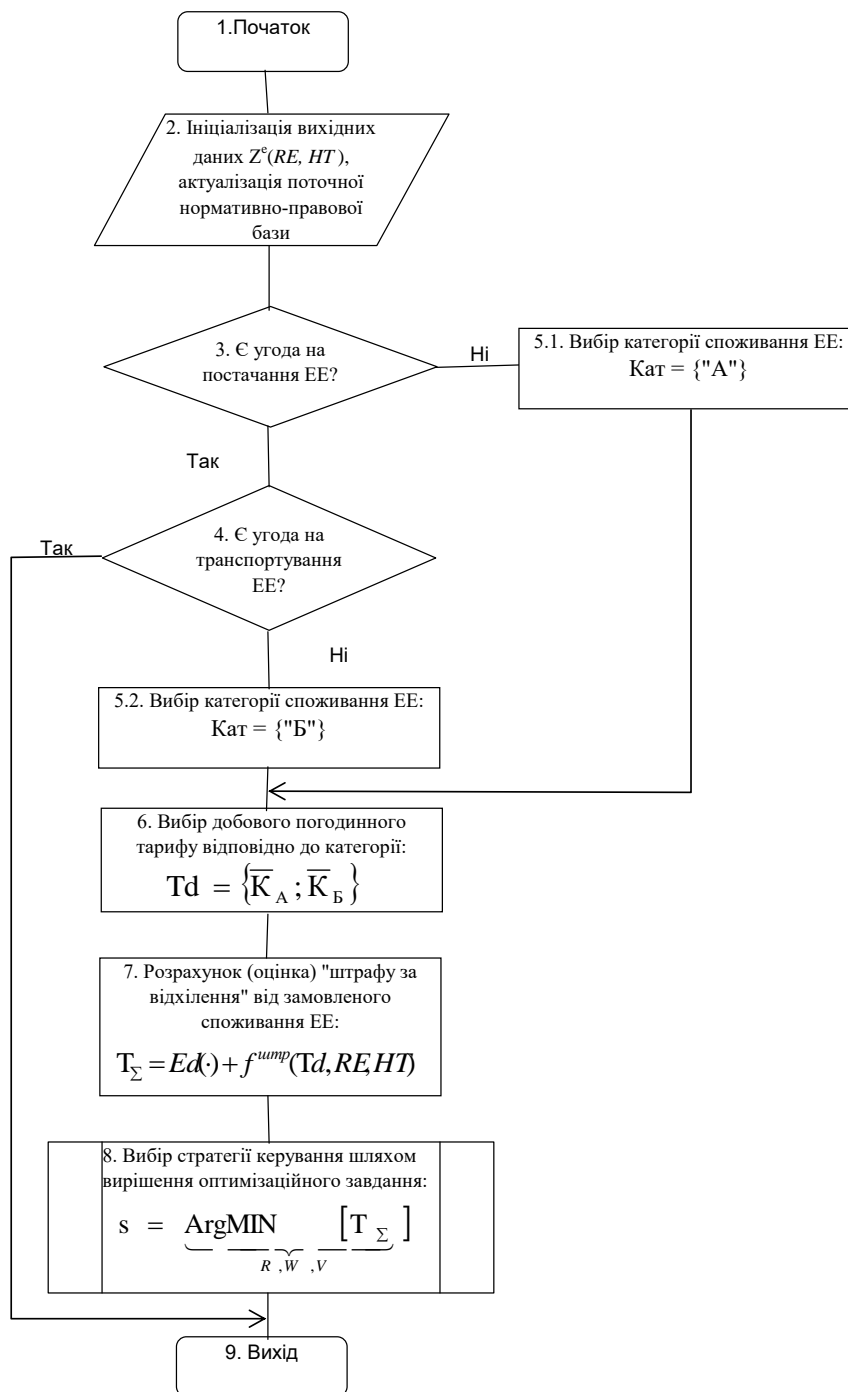


Рис. 2. Загальний алгоритм роботи автоматизованої системи керування електроенергопотоками залізорудної шахти

З урахуванням вимог виконання заявленого енергоспоживання у блоці №7 формується комплексний оціночний показник (T_{Σ}), що враховує фактичне споживання ЕЕ та спеціальну функцію «штрафу». Корисною властивістю останньої є те, що значення штрафу має наближатися до 0 («штрафу» немає, або він мінімальний), якщо зазначених відхилень немає. У протилежному випадку (позитивне або негативне відхилення) функція починає різко зростати («штраф» максимізується). Приклад, функції є [3]

$$f^{ump} = r \sum_{i=1}^{NS} \left[\frac{|\bar{T}_i - T_i^{don.}| + (\bar{T}_i - T_i^{don.})}{2} \right]^2, \quad (2)$$

де \bar{T}_i – середньодобове значення i -го тарифу; $T_i^{don.}$ – обмеження на відхилення у споживанні ЕЕ при застосуванні i -го тарифу в системі; NS – кількість встановлених тарифних інтервалів; r – коефіцієнт штрафу (ціле число, що обирається емпірично).

$$I = [E_d(R, W, V) + f^{ump}(T_d, E^{(-)}, E^{(+)})] \rightarrow MIN, \quad (3)$$

де I – результуюча функція мети; $E_d = (E^{(-)} + E^{(+)})$ – оцінка фактичного балансу (споживання, генерація) ЕЕ у системі, що оцінюється за критерієм (1); T_d – тариф діючий.

Блок №8 фактично призначений для вибору оптимальної стратегії (s) керування енергоспоживанням через вирішення оптимізаційної задачі з певними параметрами векторів станів (рис. 1). Фактичним рішенням з урахуванням базових алгоритмів (рис. 3-4) будуть такі параметри рудопотоків, водовідведення та вентиляції (R, W, V) , за яких досягається мінімальне значення цільового функціоналу типу (3):

$$s = \underbrace{\text{ArgMIN}}_{R, W, V} [I], \quad (4)$$

де s – це номер оптимальної стратегії керування відповідно до алгоритму.

Завершальний блок №9 алгоритму фактично зупиняє роботу відповідного розрахунку та дозволяє в подальшому реалізувати більш складні інтелектуальні підходи до керування енергоспоживанням:

$$Z^e = F(RE, HT) \Rightarrow \min, \quad (5)$$

де Z^e – загальні витрати підприємства за спожиту електроенергію (ЕЕ, погодинно, подовово), грн.; RE – споживання ЕЕ (погодинно, подовово), кВт; HT – часовий (0-24) тариф на ЕЕ, грн./кВт; $F(\bullet)$ – деяка визначена функціональна залежність.

Значення витрати електроенергії в системі в цілому або в окремих переділах з локального критерію цільової функції (3), таким чином, можна представити у вигляді:

$$RE = f(R, W, V), \quad (6)$$

де $f(\bullet)$ – деяка функція або апроксимація.

На рис. 3 наведено авторський приклад багатоканального нечіткого регулятора для інтелектуальної АСК енергопостачанням. У якості базового обраний 2-зонний тариф типу «Ніч/Пік». Виходячи з цього, будь-який одно- або двоканальний регулятор буде відповідним окремим випадком від цього (наприклад, як було продемонстровано в [11, 12]).

В залежності від вхідних значень R, W, V (як потенційних керуючих впливів в інтелектуальній АСК) та обраного тарифу шляхом нечіткого логічного висновку визначається фактичне енергоспоживання ЕЕ $\{E^{(-)}\}$. Причому, у разі наявності додаткової власної енергетичної генерації $\{E^{(+)}\}$, це буде також враховано у підсумковому енергетичному балансі підприємства протягом доби.

В структурній схемі (рис. 3) прийнято такі умовні позначення: $OK_{ij} \in \mathfrak{R}$ – j -й канал керування i -го ТП (наприклад, видобуток руди, водовідлив, вентиляція тощо); $i=1, \dots, N_s$; N_s – кількість ТП; $j=1, \dots, k_i$; k_i – кількість каналів керування i -го ТП; HP_{ij} – нечіткий регулятор OK_{ij} ; $V_{ij} \in \mathfrak{R}$ – вектор збудуючи впливів для OK_{ij} ; $Y_{ij} \in \mathfrak{R}$ – вектор вихідних характеристик OK_{ij} ; $U_{ij} \in \mathfrak{R}$ – вектор керуючих впливів OK_{ij} ; X_{ij} – вектор інформаційних параметрів про стан OK_{ij} ; $Y_{ij}^3 \in \mathfrak{R}$ – вектор завдань (установок) OU_{ij} ; TP_i^* – комплекс всіх локальних ТП; $V_i^* \in \mathfrak{R}$ – вектор головних збудуючи впливів TP_i^* ; $Y_i^* \in \mathfrak{R}$ – вектор вихідних характеристик TP_i^* ; X_i^* – вектор інформаційних параметрів про поточних станів комплексу TP_i^* ; $Y_i^{*3} \in \mathfrak{R}$ – вектор завдань (установок) для вихідних характеристик TP_i^* ; PR_i^* – прогноуюча математична модель (регресор) для i -го ТП.

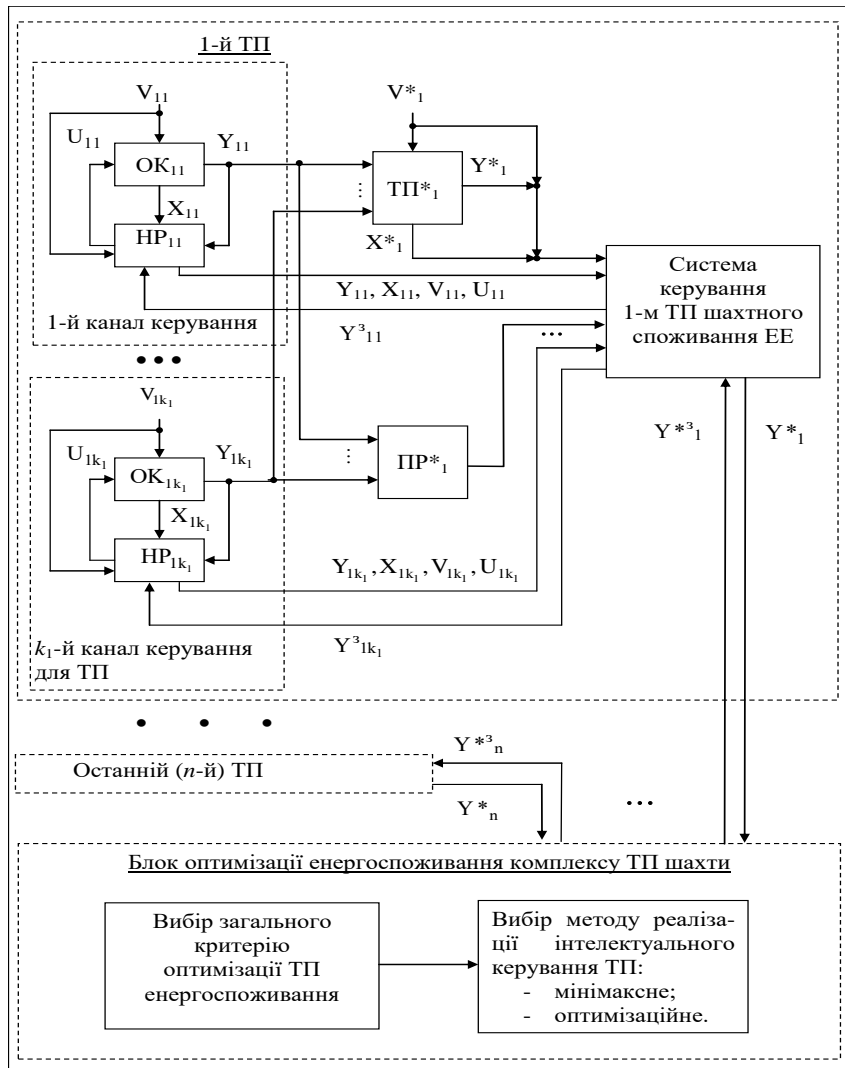


Рис. 3. Структурна схема розподіленої багатоканальної нечіткої АСК процесами електроенергоспоживання в умовах залізрудних шахт

Моделювання роботи системи автоматизованого керування електричною мережею з розподіленою генерацією. В роботі було здійснено алгоритмічно-програмну реалізацію різноманітних інтелектуальних нечітких регуляторів, а в подальшому їх апробація шляхом комп'ютерного моделювання на реальних даних підприємств з підземним видобутком руди у Кривбасі (ш. «Родіна», ш. «Октябрська», ш. «Гвардійська» тощо). Окремі результати таких випробувань наведено у роботах авторів [3, 5-7, 15].

Для моделювання роботи АСК шахтного енергоспоживання використано середовище модуля *Fuzzy Logic Toolbox* (FLT) із відомого програмного математичного пакету прикладних програм MATLAB. Для цього скористаємося стандартною методикою нечіткого моделювання, описаною в [14, 15]. Базові принципи здійснення моделювання подібних систем та доведення їх адекватності докладно розглянуті в роботах [11-15].

Моделювання одноканального керування. На рис. 4 показано результати моделювання роботи нечіткої одноканальної АСК енергоспоживання на основі одного керуючого впливу – добового водовідведення, розподіленого у часі. В ході моделювання використовувалися вихідні дані з діючих залізрудних шахт. Інші підходи до інтелектуального керування в умовах подібних підприємств (в т.ч., з альтернативними тарифами та/або каналами керування) продемонстровано в дослідженнях [28-30].

Аналіз результатів моделювання (рис. 4) та проведених аналітичних розрахунків показує, що використання двозонного тарифу веде до збільшення витрат на спожиту електроенергію на 12,88% (без АСК). Застосування АСК з Fuzzy-регулятором (FLC) на основі мінімаксних критеріїв типу (1)-(2) в умовах шахти «Родіна» (м. Кривий Ріг) дозволяє збільшити добове відкачу-

вання води на 11,9%. При цьому добове споживання електроенергії аналогічно зростає на 11,9 %, а витрати на використання електроенергії з урахуванням двозонного тарифу зменшуватимуться на 4,31 % (за рахунок раціональнішого перерозподілу за тимчасовими зонами).

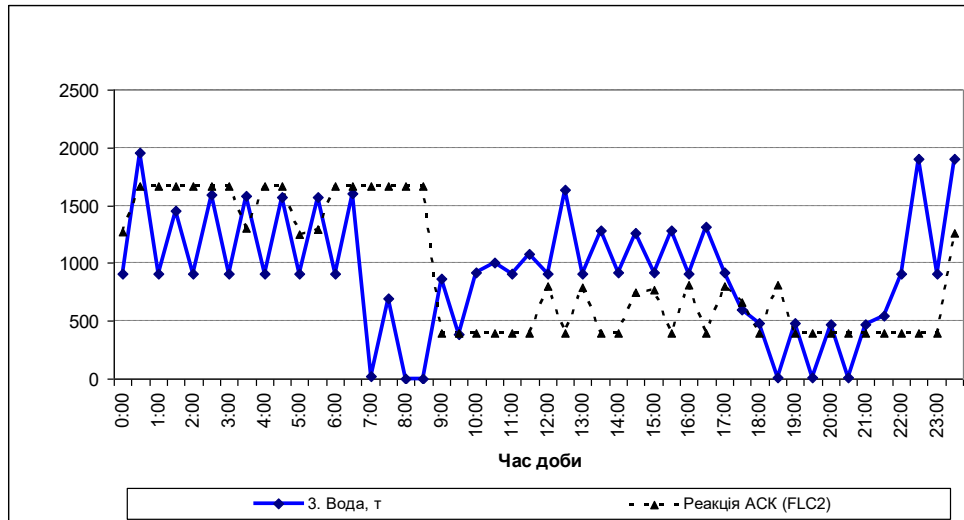


Рис. 4. Залежності з водовідведення на шахті «Родіна» (м. Кривий Ріг) як єдиного каналу керування та прогнозу відкачування води за умови мінімізації енергоспоживання

Моделювання багатоканального керування. Реалізація багатоканального керування в середовищі MATLAB з використанням структури багатоканальної нечіткої АСК (рис. 3) на підставі вихідних реальних виробничих даних показує результати аналогічні попередньому випадку (рис. 5). Зокрема, по каналах «Руда/Вода» модельна реалізація мінімаксного регулювання на основі критерію (3) показано в [13].

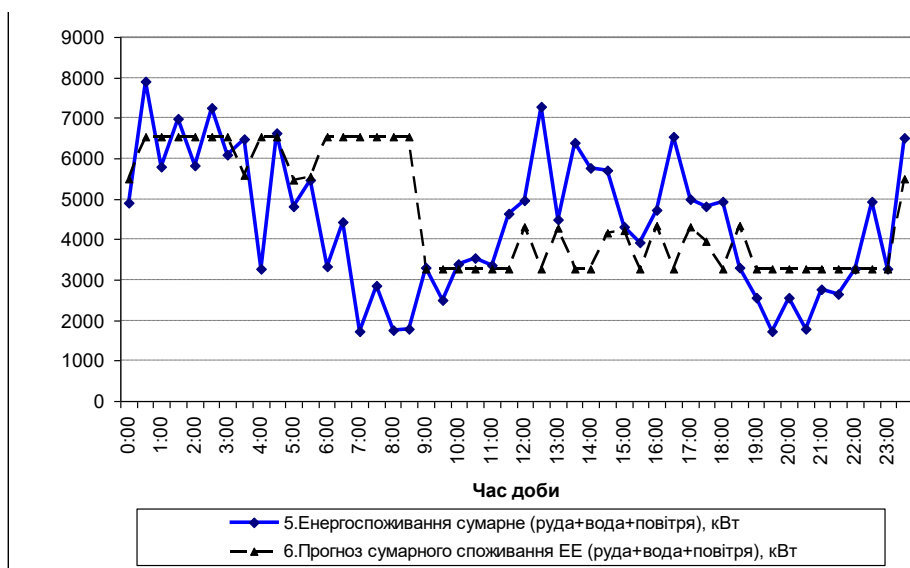


Рис. 5. Результати триканального керування («Руда-Вода-Повітря») сумарним споживанням електричної енергії в умовах шахти «Родіна» (м. Кривий Ріг) в умовах погодинного двоставкового тарифу

Результати аналізу інших розрахункових значень показують, що за умов двоставкового тарифу добові витрати зростають на 7,1% проти альтернатив [11]. Використання мінімаксного регулювання (мінімізація енергоспоживання з максимізацією добового водовідведення) каналом «Вода» призведе до зростання добового споживання приблизно на 6,97%. Однак, як було показано [12], повністю компенсується збільшенням добового видобутку сировини (приблизно +508 т/добу) [3].

Результати аналізу отриманих залежностей показують, що, на відміну від одно- та двоканального регулювання в умовах застосування двозонного тарифу за споживану ЕЕ, використання мінімаксного регулювання призведе до прогнозованого зростання добового споживання

ЕЕ приблизно на 4,45 %. Однак, як було показано у розрахунках [11-15], це повністю компенсується збільшенням загальної ефективності. Одночасно добові витрати на спожиту ЕЕ будуть знижені на 2,5% через раціональніший розподіл рудо-/водо-/повітря-потоків за основними технологічними переділами. Отже, застосування триканального нечіткого керування з можливістю узгодженого керування (рудопотоками, водовідливом та вентиляцією) є найбільш ефективним в умовах підземного видобутку залізорудної сировини.

Моделювання роботи АСК в режимі генерації ЕЕ. В режимі додаткової генерації ЕЕ з'являється можливість часткової компенсації сумарного енергоспоживання за рахунок додаткової енергії з гідроакumuлюючих джерел. На рис. 6 наведено результати моделювання роботи АСК (на прикладі шахти «Родіна») в 4-х режимах.

Аналіз результатів моделювання свідчить про можливість скорочення споживання ЕЕ при роботі у більш прогресивних режимах (3 – 4) на 26-35% (в умовах шахти «Родіна») (рис. 6).

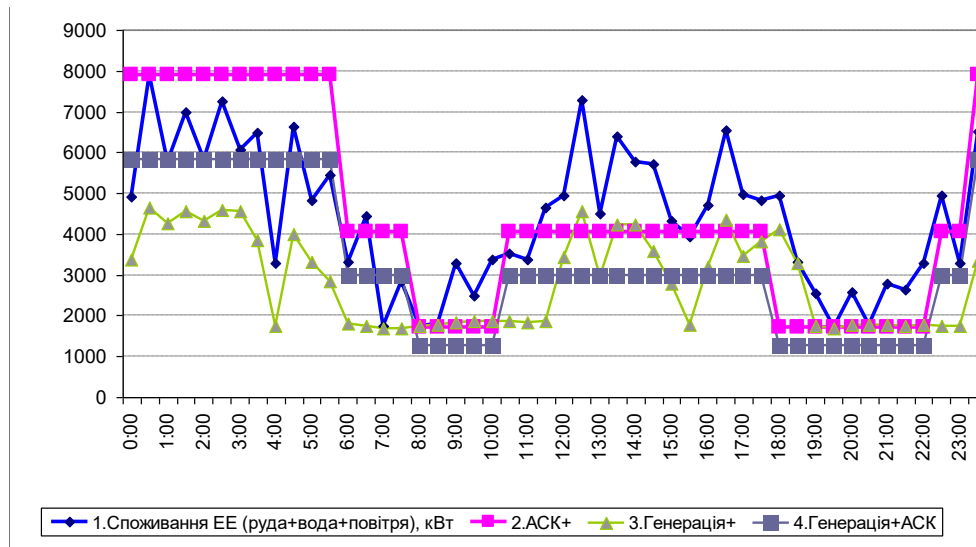


Рис. 6. Результати моделювання роботи ш. «Родіна» в таких режимах: 1 – звичайний режим (без застосування інтелектуального керування та додаткової генерації); 2 – із застосуванням інтелектуального керування але без додаткової генерації; 3 – із застосуванням додаткової генерації, але без застосування інтелектуального керування; 4 – із застосуванням інтелектуального керування та додаткової генерації

Висновки та напрямок подальших досліджень. Процес підвищення енергоефективності функціонування електроенергетичних комплексів та систем залізорудних шахт має базуватись на структурах електричних мереж з розподіленою генерацією електричної енергії за умови інтелектуального автоматизованого керування електроенергопотоками.

Алгоритм функціонування, як сама структура АСК, повинні корегувати з погодинними тарифами на електричну енергію та технологічними параметрами функціонування енергоємних споживачів. В такому варіанті слід очікувати:

використання двоставкового («Ніч/Пік») тарифу без застосування нечітких АСК веде до збільшення добових витрат на спожиту електричну енергію на 12,88 % при одноканальному регулюванні водовідведення і відповідно на 7,1 % при двоканальному керуванні рудопотоком та водовідливом одночасно (однак, застосування нечітких регуляторів дозволяє компенсувати ці втрати);

застосування АСК з нечітким 3-х канальним регулюванням рудопотоку, водовідливу та вентиляції дозволяє в умовах двоставкового тарифу (за рахунок більш раціонального перерозподілу за добовими інтервалами) скоротити витрати на спожиту електричну енергію (наприклад, за даними шахти «Родіна», зі збільшенням добового споживання ЕЕ на 4,45 % (загальні витрати скорочуються 2,5 %).

Моделювання роботи нечітких АСК показало потенційні можливості для зниження загального енергоспоживання на 15-35% в режимах додаткової гідроакumuлюючої генерації ЕЕ (досліджувався двоставковий тариф) в умовах різних підприємств з підземним видобутком залізорудної сировини.

Список літератури

1. Вілкул Ю.Г. Сучасний стан залізорудної галузі, прогноз розвитку та пропозиції / Ю.Г. Вілкул, А.А. Азарян, В. А. Колосов, Ф. І. Караманіць, А. С. Батарєєв // Качество минерального сырья. Сб. науч. тр., Кривой Рог: ФЛП Чернявский Д. А., 2017. – Т. 1, С. 9-24.
2. Ступнік М.І. Проблеми розкриття та підготовки рудних родовищ на глибоких горизонтах шахт Кривбасу / М.І. Ступнік, М.Б. Федько, С.В. Письменний та ін // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2018. – Вип. 47, С. 3-8. DOI: [10.31721/2306-5451-2018-1-47-3-8](https://doi.org/10.31721/2306-5451-2018-1-47-3-8).
3. Sinchuk I., Budnikov K., Krasnopolsky R. Fundamentals of integrating smart technologies for controlling power systems at iron ore underground mining enterprises / Monograph. – Warsaw: PE Shcherbatykh A.V., 2021. – 127 s.
4. Закон України «Про ринок енергії» № 1931-ІХ від 02.12.2021, с. 103.
5. Sinchuk O. Assessment of the factors influencing on the formation of energy-oriented modes of electric power consumption by water-drainage installations of the mines / Sinchuk O., Sinchuk I., Beridze T., Filipp Y., Budnikov K., Dozorenko O., Strzelecki R. // Mining of Mineral Deposits, 2021. – Volume 15, Issue 4. – pp. 25-33. <https://doi.org/10.33271/mining15.04.025>
6. Сінчук О.М. До проблеми створення синергетичних електроенергетичних комплексів з піковими гаєс на основі доводильних систем залізорудних шахт / О.М. Сінчук, Ю.Б. Філіпп, І.О. Сінчук, О.Ю. Михайленко, К.В. Будніков, Р.І. Краснопольський // Гідроенергетика України, 2021. – №3–4, С. 83–89.
7. Sinchuk O.M., Woiko S.M., Sinchuk I.O. та ін. Aspects of the problem of applying distributed energy in iron ore enterprises' electricity supply systems. Multi-authored monograph. – Warszawa: iScience Sp. z. o. o., 2018. – 77 p.
8. Wu T., Shieh S., Jang S., Liu C. Optimal energy management for a petrochemical plant under considerations of uncertain power supplies / IEEE Transactions on Power Systems, 2005. – 20(3), pp. 1431-1439. DOI: [10.1109/tpwrs.2005.852063](https://doi.org/10.1109/tpwrs.2005.852063)
9. Brand EL, Vosloo J., Mathews E. Automated energy efficient project identification in the gold mining industry. Proceeding of the 13th Conference on the Industrial and Commercial use of Energy. 2015, pp. 17-22. DOI: [10.1109/ICUE.2015.7280241](https://doi.org/10.1109/ICUE.2015.7280241)
10. Mike Rycroft. Small pumped water storage systems: a new partner for renewable energy. Technology&business for development 2017. Електронний ресурс: URL: <https://www.ee.co.za/article/small-pumped-water-storage-systems-new-partner-renewable-energy.html>.
11. Бодяньський Є.В. Методи обчислювального інтелекту в системах керування технологічними процесами феросплавного виробництва / Бодяньський Є.В., Кученренко Є.І., Михальов О.І., Філатов В.О., Гасик М.М. // Монографія. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. – 420 с.
12. Мееров М.В. Многосвязные системы управления / М.В. Мееров, А.В. Ахметзянов, Я.М. Берщанский и др.; под ред. М.В. Меерова. – М.: Наука, 1990. – 264 с.
13. Молчанов А.А. Моделирование и проектирование сложных систем. – К.: Вища школа, 1988 – 359 с.
14. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления; пер. с англ. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004 – 832 с.
15. Kupin A., Senko A. Principles of intellectual control and classification optimization in conditions of technological processes of beneficiation complexes / CEUR Workshop Proceedings 1356, 2015. – pp. 153-160

УДК 622.794.4:621.3.025

О.В. ЗАМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., С.О.КРАДОЖОН, аспірант
Криворізький національний університет

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ УСТАНОВКИ ДЛЯ КОМБІНОВАНОЇ СУШКИ ПРОДУКТІВ ЗБАГАЧЕННЯ ПРЯМИМ ВПЛИВОМ ЗМІННОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Мета. Метою даної роботи є розробка рекомендацій по промислового використання методу сушки тонкодисперсних продуктів збагачення.

Методи дослідження. У роботі використані методи математичного моделювання та математичної статистики при перевірці результатів теоретичних розрахунків, отриманих для визначення параметрів установки для комбінованої сушки тонкодисперсних матеріалів прямим впливом змінного електричного струму.

Наукова новизна. Вперше розроблений метод розрахунку конструктивних та технологічних параметрів сушильної установки тонкодисперсних продуктів збагачення пропусканням змінного електричного струму.

Практична значимість. При мокрих процесах збагачення корисних копалин виникає необхідність зневоднення тонкодисперсних продуктів (концентратів, хвостів, шламів). При цьому існуючі методи зневоднення не завжди можуть забезпечити необхідну кінцеву вологість таких продуктів, або мають високі енергетичні затрати і шкідливі для екології, як наприклад термічна сушка. Існують проблеми, пов'язані з будовою парового середовища осадів, так як дослідження його являє собою складну задачу. Найбільші труднощі виникають при сушці шламових осадів, які

мають високорозвинену поверхню частинок, і обумовлені наявністю капілярних явищ, а також особливими властивостями рідини в тонких каналах. Це спонукає до розробки нових ефективних методів зневоднення тонкодисперсних продуктів збагачення. Одним з таких методів є комбінований спосіб сушки прямим впливом змінного електричного струму. Але до сього часу не була розроблена методика розрахунку конструктивних та технологічних параметрів для проектування установки, яка реалізує цей спосіб. Тому розробка методики розрахунку установки для комбінованої сушки прямим впливом змінного електричного струму, яка дозволяють забезпечити раціональні параметри зневоднення тонкодисперсних матеріалів має високу практичну значимість.

Результати. Розроблена методика для розрахунку конструктивних та технологічних параметрів сушильної установки для зневоднення продуктів збагачення внутрішніми джерелами теплоти в умовах електричного нагріву комбінованим способом. Це дозволяє визначити раціональні параметри сушильної установки для забезпечення найкращих показників енергоефективності та екологічності.

Ключові слова: сушильні установки, енергоефективність, тонкодисперсні матеріали, методика.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-126-131

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. При роботі агломераційних фабрик утворюється значна кількість шламів. Вони складаються з частинок шихти та готового агломерату, які були затримані системою газоочистки та змиті водою в скруберах. Зазвичай після відстоювання в шламонакопичувачах та попереднього зневодження на складах вони додаються в склад агломераційної шихти для повторного використання. Але досить висока та нестабільна вологість шламів (в середньому від 18 до 29%) призводить до порушення технологічного процесу та вимушує збільшувати вміст палива (кокса) в складі шихти.

Використання для зневоднення агломераційних шламів барабанних, дискових та пресфільтрів, часто неможливо за наявністю в складі шламів як дуже дрібних фракцій так і досить великих. Використання на деяких підприємствах стрічкових вакуум-фільтрів не дає достатнього зниження вологості. Застосування для зневоднення шламів термічної сушки пов'язано з значними капітальними затратами, витратами палива, необхідністю наявності додаткової системи пилогазоочистки та забрудненню оточуючого середовища.

Це спонукає до розробки та впровадженню нових методів зневоднення тонкодисперсних продуктів збагачення.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання сушки тонкодисперсних матеріалів широко висвітлені в роботах: А. В. Ликов [5, 6], О. В. Замицький [7, 8], Б. С. Сажин [9], В. Ф. Фролов [10] та ін.

При сушці тонкодисперсних матеріалів важливою проблемою є забезпечення екологічної та виробничої безпеки сушильних установок. У статті [7] були розглянуті сучасні методи сушки тонкодисперсних матеріалів, встановлено, що найбільш перспективним є метод сушіння за допомогою електричного струму. Електричний струм пропускають через шар вологого матеріалу. При цьому матеріал приводять в контакт з електродами, які включені безпосередньо в електричний ланцюг.

У статті [8] була розроблена математична модель тепло- та масообміну в процесі сушки капілярно-пористого матеріалу шляхом пропускання електричного струму через шар вологого матеріалу, що дозволило отримати розрахункові залежності та встановити раціональні параметри сушильної установки.

Постановка задачі. На основі проведених досліджень був запропонований метод, який полягає в підвищенні продуктивності процесу сушки і зниженні його енергоємності, за рахунок впливу електричним струмом тільки на поверхневий шар матеріалу, а пари що утворюються створюють надлишковий тиск в цьому зоні пароутворення, що призводить до видалення (випаровування) вологості в зоні фільтрації [7]. Використовуючи даний спосіб, видалення вологості відбувається комбіновано. 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 матеріалом, що зневоджується і мають можливість контакту з ним шляхом занурення, а над електродами встановлений герметичний кожух.

При підключенні напруги до електродів відбувається резистивний нагрів капілярної вологості і її пароутворення внутрішніми джерелами теплоти. При цьому виникає підвищений тиск в шарі матеріалу між електродами, за рахунок чого крапельна волога фільтрується через шар

тонкодисперсного матеріалу, що знижує енерговитрати, але на даний час відсутня методика розрахунку таких установок.

Метою даної статті є розробка методики розрахунку конструктивних параметрів установки для сушки тонкодисперсних матеріалів комбінованим методом зневоднення з пропусканням електричного струму через матеріал.

Викладення матеріалу та результати. Розрахунок конструктивних параметрів сушильної установки (рис. 1).

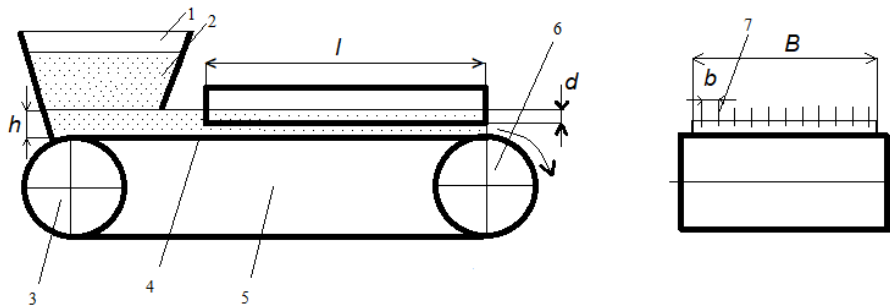


Рис. 1. Конструктивна схема установки для зневоднення продуктів збагачення внутрішніми джерелами теплоти в умовах електричного нагріву: 1 – бункер, 2 – матеріал, 3 – натяжний барабан, 4 – перфорована стрічка, 5 – стрічковий живильник, 6 – приводний барабан, 7 – електроди, l – довжина електродів; b – відстань між електродами; d – глибина занурювання електродів; h – висота шару матеріалу; B – ширина шару матеріалу на стрічці.

Основними параметрами робочої зони є довжина електродів і відстань між електродами.

Вихідні дані: продуктивність установки G , т/год, початкова і кінцева вологість матеріалу u_0 , u , %.

Довжина робочої зони, м

$$l = v\tau,$$

де v – швидкість руху стрічки, м/с; τ – час, протягом якого матеріал повинен бути підданий сушінню, с.

Відстань між електродами, м

$$b = \frac{U}{E},$$

де U – напруга, В; E – напруженість електричного поля, В/м ($E = 6,5-8,5$ – по результатам попередніх досліджень).

Глибина занурювання електродів, м

$$d = zh,$$

де z – ступінь занурення електродів, м, по результатам попередніх досліджень для шламів аглофабрик, приймається $z = 0,6$.

Продуктивність установки, т/год

$$G = 3600Bhv\gamma_n,$$

де G – продуктивність, т/год; B – ширина шару матеріалу на стрічці, м; h – висота шару матеріалу, м; γ_n – насипна маса матеріалу, т/м³.

Так як ширина шару матеріалу B дорівнює сумі всіх відстаней між електродами b , то

$$B = b(n-1),$$

де b – відстань між сусідніми електродами, м; n – число електродів.

Таким чином, формула для розрахунку продуктивності сушильної установки приймає наступний вигляд

$$G = 3600hv\gamma_nb(n-1).$$

Повірочний розрахунок.

Проводиться з метою перевірки відповідності кінцевої вологи продуктів, що зневоджуються.

Початкові дані: t_0 – початкова температура пластини, °С; t_c – температура оточуючого середовища, °С; u_0 – початкова вологість пластини, %; t_m – температура по мокрому термометру, °С; t_k – температура пластини після сушки, °С; x – точка визначення вологості в пластині; ρ – радіус меніска капіляру, м; $2\delta = B$ – ширина шару, м; λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·град;

ρ_0 – щільність сухого матеріалу, кг/м³; l – довжина пластини, м; h – висота пластини, м; U – напруга, В; ρ_{el} – питомий електричний опір, Ом·м; τ – час визначення вологості в пластині, с.

Для розрахунку кінцевої вологості матеріалу використовуємо наступний алгоритм:
ізохорна питома теплоємність, Дж/моль·К

$$c_v = (1 - u_0)c_{v1} + u_0c_{v2},$$

де c_{v1} та c_{v2} – ізохорна теплоємність матеріалу та води;
потужність внутрішніх джерел теплоти, Вт/м³

$$Q_v = \frac{Q}{V},$$

де $V = lBh$ – об'єм матеріалу між електродами, м³

$$Q = \frac{U^2}{R},$$

$$R = \rho_{el} \frac{l}{f},$$

$$f = hB,$$

після підстановки отримуємо

$$Q_v = \frac{U^2}{\rho_{el} l};$$

коефіцієнт температуропровідності, Вт/м·град

$$a = \frac{\lambda}{c_v \rho_0};$$

коефіцієнт дифузії рідини, м²/с

$$a_{m2} = D_0 \cdot \left(\frac{273 + t_{sr}}{273} \right)^{1.8},$$

де D_0 – коефіцієнт дифузії при нормальних умовах, t_{sr} – середня температура пластини;
коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м²·град

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_g}{2\delta},$$

де Nu – число Нусельта;

$$Nu = 0.75(Gr \cdot Pr)^{0.25},$$

де Gr – число Грасгофа;

$$Gr = \frac{g(2\delta)^3}{\nu^2} \beta_1 (t_{sr} - t_0),$$

де β_1 – коефіцієнт температурного розширення, К⁻¹; Pr – число Прандтля;

$$Pr = \frac{\nu}{a_1},$$

де a_1 – коефіцієнт температуропровідності повітря,

$$a_1 = \frac{\lambda_1}{c_1 \rho_1};$$

інтенсивність масообміну, кг/м²·с

$$q_2' = \beta \cdot \Delta p,$$

де β – коефіцієнт об'ємного розширення;

$$\beta = \frac{Nu_D a_{m2}}{2\delta},$$

де Nu_D – число Нусельта дифузійне;

$$Nu_D = 0.75Gr_D Pr_D)^{0.25},$$

де Gr_D – число Грасгофа дифузійне;

$$Gr_D = \frac{\Delta p}{\rho_e} \cdot \frac{g(2\delta)^3}{v^2},$$

де Δp – різниця парціальних тисків пару [11];

$$\Delta p = \frac{p_1 - p_2}{R \cdot T_{sr}};$$

$$lgp_1 = \frac{8.12 \cdot t_{sr} + 156}{t_{sr} + 236}; \quad lgp_2 = \frac{8.12 t_m + 156}{t_m + 236};$$

$$p_1 = 133.3210^{lgp_1}; \quad p_2 = 133.3210^{lgp_2},$$

де Pr_D – число Прандтля дифузійне;

$$Pr_D = \frac{\nu}{a_{m2}};$$

відносний коефіцієнт термодифузії, кг/кг·град

$$\delta_2 = \frac{-\Delta c}{1000 \Delta T} \cdot \frac{1}{d_1(1-d_1)},$$

де ΔT – різниця початкової температури с температурою мокрого термометра;

$$\Delta T = t_0 - t_m,$$

де Δc – різниця вологовмісту повітря;

$$\Delta c = d_1 - d_2;$$

$$d_{1,2} = \frac{0.622 p_{1,2}}{10^5 - p_{1,2}};$$

число Біо

$$Bi = \frac{a\delta}{\lambda};$$

коефіцієнт μ_n визначається в залежності від числа Біо;

кінцева вологість матеріалу [8], %;

$$u(x, \tau) = u_0 - \delta_2 \frac{\sqrt{a_{m2}}}{a_{m2} - a} \left(t_c - t_0 - \frac{\rho q_2}{\alpha} \right) \cdot 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left[\begin{array}{l} \sqrt{a} \frac{(\sin \mu_n)}{\sin(\sqrt{\frac{a}{a_{m2}}}) \mu_n} \cos(\mu_n) \sqrt{\frac{a}{a_{m2}}} \frac{x}{\delta} - \\ - \sqrt{a_{m2}} \cos(\mu_n) \frac{x}{\delta} \end{array} \right] \times$$

$$\times \frac{\sin(\mu_n)}{\mu_n + \cos(\mu_n) \sin(\mu_n)} e^{-\mu_n^2 \frac{a}{\delta^2} \tau} - \delta_2 \frac{\sqrt{a_{m2}}}{a_{m2} - a} \frac{Q_v}{c_v \rho_0} \left[\frac{a - a_{m2}}{a \sqrt{a_{m2}}} \left(x^2 - \frac{\delta^2}{2} \right) + \frac{\delta^2}{a} \times \right.$$

$$\left. \times 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left[\begin{array}{l} \sqrt{a} \frac{\sin(\mu_n)}{\sin(\sqrt{\frac{a}{a_{m2}}}) \mu_n} \cos(\mu_n) \sqrt{\frac{a}{a_{m2}}} \frac{x}{\delta} - \sqrt{a_{m2}} \cos(\mu_n) \frac{x}{\delta} \end{array} \right] \times \right.$$

$$\left. \times \frac{\sin(\mu_n)}{\mu_n^2 (\mu_n + \cos(\mu_n) \sin(\mu_n))} e^{-\mu_n^2 \frac{a}{\delta^2} \tau} \right] - \frac{q_2}{\sqrt{a_{m2}} \rho_0} \left[\frac{\sqrt{a_{m2}}}{\delta} \tau + \frac{1}{2\delta \sqrt{a_{m2}}} \left(x^2 - \frac{\delta^2}{2} \right) \right].$$

Відносна похибка розраховується за формулою

$$\Delta = \frac{u - u_{розр}}{u}.$$

Середнє відхилення повинно не перевищувати 12%.

Висновки та напрямок подальших досліджень. В результаті проведених досліджень розроблена методика розрахунку конструктивних та технологічних параметрів сушильної установки тонкодисперсних продуктів збагачення комбінованим способом.

В подальшому планується проведення досліджень для зниження питомих витрат електроенергії при зневодненні тонкодисперсних матеріалів з використанням комбінованого методу сушки прямим впливом змінного електричного струму.

Список літератури

1. Ребиндер П.А. // В кн.: Всесоюзное научно-техническое совещание по интенсификации процессов сушки. М: Профиздат, 1958. С. 14.
2. Лукин Б.Н., Курочкина М.И. Очистка вентиляционных выбросов в химической промышленности. Л.: Химия. 1980. 232с.
3. В.И. Мухтаев, В.М. Ульянов / Сушка дисперсных материалов – 51 с.
4. С.О. Поляшенко, О.В. Єсіпов, М.Л. Шуляк / ОСНОВИ ТЕПЛООБМІНУ Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, 2020.
5. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности / Лыков М.В. // М. : Химия, 1970. – 429 с
6. Лыков А.В. Теория тепло- и массопереноса / Лыков А.В. , Михайлов Ю.А. // М. : Госэнергоиздат, 1963. – 536 с.
7. Замницький О. В. Інноваційні технології в процесі сушки тонкодисперсних матеріалів / О. В. Замницький, Н. В. Бондар, С. О. Крадожон // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2019. – Вип. 48. – С. 83–88. – Бібліогр.: 15 назв. – DOI: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-83-88
8. Mathematical model of the process of drying fine dispersed materials under the influence of alternating electric current / O. V. Zamytskyi, N. O. Holiver, N. V. Bondar, S. O. Kradozhon // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2021. – No. 3. – P. 51–56. – DOI: 10.33271/nvngu/2021-3/051.
9. Сажин Б.С. Научные основы техники сушки/ Б.С. Сажин, В.Б. Сажин // М.: Наука. – 1997. – 448 с.
10. Фролов В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов/ Фролов В.Ф. // Л.: Химия. - 1987.- 208 с.
11. Нестеренко А. В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха.–М.: Высшая школа, 1974.–460 с.

УДК 622.235:622.271

Д.Ю. МАЛИХ, інж., Д.А. ТИТОВ, магістрант, Г.І. ЄРЕМЕНКО, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ЕНЕРГЕТИЧНО-КОНСТРУКТИВНА АНАЛІТИКА АДАПТАЦІЇ МЕРЕЖ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ ДО ПІДРИВАННЯ МАСИВІВ СКЛАДНОЇ СТРУКТУРИ

Мета. Основною метою досліджень є визначення максимально можливої адаптації свердловинних зарядів ВВ до особливостей будови масивів гірських порід для більш ефективного руйнування шляхом розосередження частин заряду вздовж свердловини та забезпечення кумулятивної дії цих частин.

Методи дослідження полягають в аналізі геологічних даних про залізорудні родовища Кривбасу, проектної документації, виробничих даних гірничодобувних підприємств, наукових теорій та публікацій з подальшим їх узагальненням і формулюванням розроблених положень. Оригінальність полягає у застосуванні комплексного підходу щодо вирішення поставленої проблеми та ряду власних технічних рішень.

Наукова новизна полягає у дослідженні впливу зміни конструкції і параметрів розосереджених свердловинних зарядів ВР на інтенсивність руйнування розташованих нижче породних масивів.

Практична значимість роботи полягає в розробці нових конструкцій свердловинних зарядів і методики визначення їх параметрів та застосування.

Результати. Було здійснено дослідження взаємозв'язку геолого-технологічних умов і динамічних процесів, в яких здійснюється вибухове руйнування кристалічних порід за допомогою взаємодіючих свердловинних зарядів, конструкції яких розроблені авторами. Це дало змогу встановити раціональні режими розподілу енергії вибуху в скельному масиві при формуванні свердловинних зарядів з використанням коефіцієнта $m = 0,025f$ лінійної диференціації їх частин, що зменшує зону хаотичних штучних структурних порушень нижнього уступу під дією вибуху, яка переважно є нерегульованою. Розроблений метод відрізняється від відомих насамперед тим, що окремі частини зарядів формуються з кумулятивними радіальними елементами. Таким чином максимальна адаптація зарядів до особливостей структурно-міцнісних характеристик масиву по висоті уступу досягається за рахунок розосередження частин заряду, а азимутальна – орієнтацією кумулятивних векторів останніх. Подальша розробка та виробниче за-

стосування результатів досліджень забезпечить значне зниження собівартості залізорудної продукції за рахунок підвищення ефективності буропідричних робіт в кар'єрі.

Ключові слова: руда, вибухове руйнування, кар'єр, буропідричні роботи, свердловинні заряди.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-131-136

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Наукові дослідження та виробнича практика ведення вибухових робіт в кар'єрах свідчать про те, що уступ гірських порід найбільш нерівномірно руйнується в зоні, прилеглої до укосу, в результаті чого утворюється гірнична маса з найбільш неоднорідною кускуватістю [1]. Винятково складний напружено-деформований стан масиву в цій частині при взаємодії свердловинних зарядів, що підривають в перших рядах, є однією з головних причин неконтрольованого виходу негабаритної фракції при масових технологічних вибухах, що негативно позначається на техніко-економічних показниках всього гірничодобувного виробництва, тому пошук шляхів вирішення даного завдання є вельми актуальним [2], так як у свою чергу сприяє вирішенню проблеми підвищення ефективності буропідричних робіт (БПР).

Аналіз досліджень і публікацій. З теорії вибухового руйнування кристалічних масивів і практики БПР [3, 4], одним з найменш досліджених теоретично і не вирішених практично питань є нерівномірний вплив на формування вибухом навантаження крайової частини уступу, оптимізувати що є можливим при цілеспрямованому використанні ефектів розвитку динамічної зони руйнування, створюваної силовими полями взаємодіючих зарядів ВР приконтурних рядів [4, 5].

Постановка задачі. В дослідження закладалася ідея можливості цільового регулювання динамічних ефектів, що проявляються при взаємодії вибуху свердловинних зарядів зі складно-структурними масивами, шляхом удосконалення (максимально можливої відповідності конструкцій свердловинних зарядів, просторового їх розміщення й алгоритму підривання – структурним особливостям руйнованих масивів) для вирішення чого задачі досліджень формулювалися згідно з цим, а саме: зарядам в рядах свердловин надаються керовані векторно-силові властивості за рахунок удосконалення конструкцій, як розподілом розділених їх частин уздовж свердловини, так і формуванням складного поперечного перетину для забезпечення значного кумулятивного ефекту (дії) й утворення завдяки сприятливій суперпозиції вибухових хвиль оптимальних динамічних зон відповідно до природної і техногенної структури масиву та конкретних умов у кар'єрах.

Викладення матеріалу та результати. Доведено, що поява негабаритних фракцій в підриваній породі, зазвичай, пов'язана з тим, що гірський масив, який руйнується, має неоднорідну цілісність через утворення в його верхній частині хаотичної штучної системи структурних порушень і заколів від дії раніше виконаних вибухів, як на верхніх, так і на суміжних уступах. Зменшити вплив енергії вибуху на законтурний масив стає можливим тільки при зміні традиційних способів ведення БПР.

Для розв'язання даного завдання авторами розроблено спосіб руйнування гірських порід на основі ефективного розподілу енергії вибуху в масиві, що руйнується при взаємодії свердловинних зарядів спеціальних конструкцій з лінійно розосередженою ВР із заданим поперечним перетином та послідовністю їх підривання [6, 7].

Розроблений спосіб (рис. 1) полягає в тому, що при підготовці уступу 1 для руйнування бурять свердловини 2 і формують у них спеціальні заряди ВР 3 відповідно до розробленого паспорту БПР, виходячи з технології гірничих процесів і фізико-механічних властивостей гірських порід.

Відрізняється від відомих даний спосіб насамперед тим, що окремі частки зарядів формуються з кумулятивними радіальними утвореннями. Таким чином максимальна адаптація зарядів щодо структурно-міцнісних особливостей масиву по висоті уступу досягається розосередженням часток заряду, а азимутально – орієнтацією кумулятивних векторів останніх.

Конструкція заряду кумулятивної дії розроблялася в різних варіантах [8] для різних масивів (рис. 1.Б). Незважаючи на візуальну складність, заряди формуються досить просто: по довжині зарядного рукава з двох боків проплавляються камери шлангового типу, після чого рукав вивертається, привантажується в зав'язаний кінець кількома кілограмами породного дріб'язку й опускається орієнтовано відповідно бажаному напрямку кумуляції енергії вибуху в свердловині.

ну, після чого бокові (вже внутрішні) ємності дуже просто і швидко заряджаються за допомогою звичайної шахтної пневмозарядної установки, а основний об'єм заповнюється – традиційно. Тріщиноутворюючі лінійні заряди 4 можуть формуватися й з патронів ВР, а в особливо щільних і крихких породах з зовнішньої сторони зарядного рукава 2 вздовж ліній його пропайки 5 доцільно розташовувати джгути ДШ 7, примикаючи до стінок свердловини для утворення початкових лінійних концентраторів напружень. Бокові лінійні високобрізантильні заряди 4, прилегли до стінок свердловини, при підриванні створюють на них, або розвивають утворені ДШ початкові тріщини – концентратори напружень, які за декілька мілісекунд розвиває основний заряд 3.

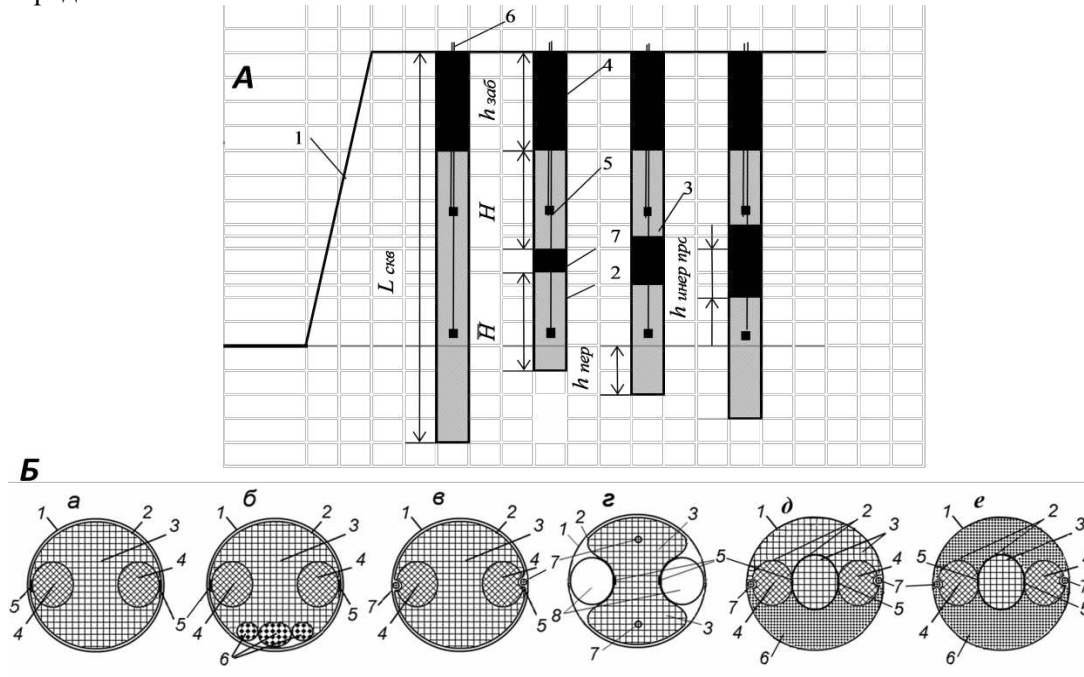


Рис.1. Спосіб руйнування гірських порід свердловинними зарядами з лінійно розосередженими частинами ВР. А: 1 – уступ; 2 – свердловини; 3 – заряд ВР; 4 – забивка; 5 – проміжний детонатор; 6 – хвилеводи; 7 – інертний проміжок; Б – поперечний переріз розосереджених зарядів радіально спрямованої дії: 1 – свердловина; 2 – полімерний рукав; 3 – низькобрзантний заряд; 4 – лінійні високобрзантні заряди; 5 – місця пропайки рукава; 6 – інертні демпфери; 7 – ДШ; 8 – повітряні утворювачі кумулятивних жолобів; ліворуч – натурні зразки

Конструкції та ВР основних і кумулятивних зарядів визначаються, залежно від характеристик порід, критичних діаметрів ВР, співвідношення акустичної жорсткості порід зі швидкістю детонації ВР, а також від мети та вимог щодо результатів підривання масиву. Діаметр зарядного рукава визначається досить просто, а усі маніпуляції з ним та ДШ легко виконуються за допомогою звичайного скотчу.

У розробленому способі буріння свердловин і формування зарядів здійснюють при виконанні умови $H \geq \tilde{H}$, де H – довжина верхнього заряду ВР; \tilde{H} – довжина нижнього.

Довжина кожного наступного інертного проміжку та перебуру, починаючи з другого ряду, визначається з рівняння $h_i = \tilde{h}_i = h_0 + m(i - 2)$, ($i = 2, 3, \dots$), $m = 0,025 f$, де h_0 – мінімально допустима довжина інертного проміжку за паспортом БПР; h_i – довжина інертного проміжку i -ої свердловини; \tilde{h}_i – довжина перебуру i -ої свердловини; m – коефіцієнт лінійної диференціації зарядів ВР; f – коефіцієнт міцності гірських порід за шкалою проф. М.М. Протодьяконова.

На рис. 2 показано залежність між коефіцієнтом лінійної диференціації зарядів ВР і коефіцієнтом міцності гірських порід. Довжина перебуру першої свердловини береться згідно з паспортом БПР для конкретних гірничотехнічних умов. Довжина забивки 4 для першого та для всіх наступних свердловин 2 є величиною постійною, обумовленою паспортом БПР, згідно з яким визначаються і параметри заряду ВР для першої свердловини.

У свердловинних зарядах 3, починаючи з другої свердловини 2, використовують інертні проміжки 7 з подальшим збільшенням їх величини за аналогічним алгоритмом, як і для випадків формування перебуру. При цьому співвідношення між довжиною верхнього заряду ВР та нижнього заряду повинне бути більшим або однаковим.

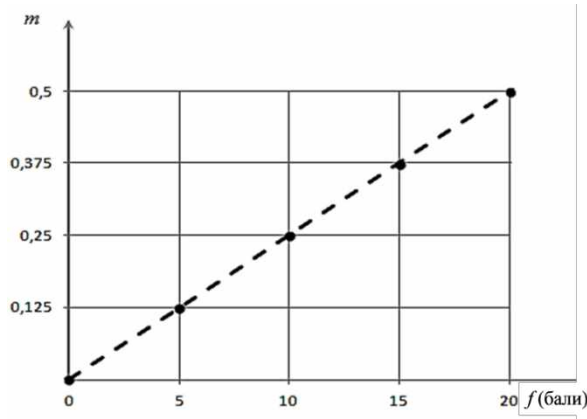


Рис. 2. Залежність між коефіцієнтом лінійної диференціації зарядів ВР (m) і коефіцієнтом f гірських порід

У всіх свердловинних зарядах 3, у верхній і нижній частинах встановлюють проміжні детонатори 5.

Використовуючи при розрахунках параметрів зарядів коефіцієнт m лінійного розподілу, можна формувати заряди так, щоб знизити одночасно негативний вибуховий вплив, як на нижчележачий, так і на суміжний уступі за рахунок більш ефективного розподілу енергії ВР у руйнованому породному уступі і, як наслідок, – зменшення зони хаотичних штучних

структурних порушень від дії попереднього вибуху. Використання коефіцієнта лінійного розподілу зарядів ВР (m) значно полегшує розрахунок їх конструктивних параметрів при впровадженні розробленого способу руйнування порід (рис. 3).

Важливу роль при накопиченні запасу енергії руйнування відіграють міцнісні властивості гірського масиву. На рис. 4 наведено залежність міцнісних характеристик породи та можливого запасу потенційної пружної енергії.

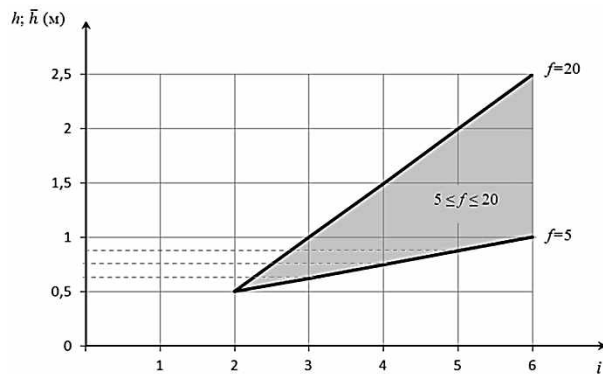


Рис. 3. Розрахунок параметрів свердловинних зарядів ВР (i – номерна позиція свердловини)

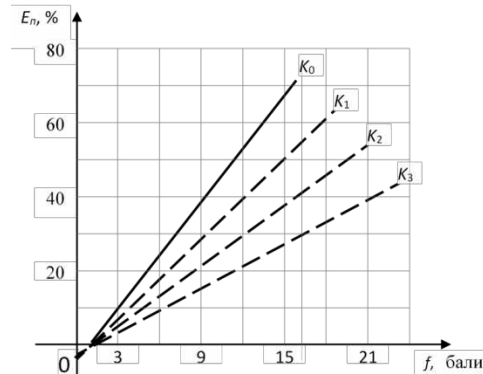


Рис. 4. Залежність міцнісних характеристик породи та запасу потенційної пружної енергії

В даній залежності величина K_1 визначається з умови $K_i = 1/\Pi$, де Π – середнє значення пористості матеріалу.

Під час вибуху свердловинного заряду в породному масиві руйнування відбувається в області, що безпосередньо прилягає до вибухової камери. Рівняння руху межі останньої згідно з [9, 10] має вигляд

$$\frac{da'}{d \ln a} + \alpha_1 (a')^2 + \gamma_2 a^{4\gamma_1} \left(\frac{\varepsilon^{-2\nu_1} - 1}{2\nu_1} + \ln \left(\frac{(1+h) \cdot a'}{\varepsilon'_0 \cdot a} \right) - \varepsilon^{-2\nu_1} \ln \left(\frac{1+n}{\varepsilon'_0} \cdot \varepsilon^{\frac{2}{1+n}} \cdot \frac{a'}{a} \right) \right)^{2\nu_1} = \frac{\beta_1}{\rho_0} P(a) + \gamma_1 \cdot$$

Аналітичне рішення, що визначає радіус порожнини в поточний момент часу згідно з [9, 10]

$$a''^2 = \frac{c_1}{a^{\alpha_1}} + \frac{\gamma_1}{\alpha_1} + \frac{\beta_1 P}{\rho_0 (\alpha_1 - 3\gamma)}$$

де c_1 – стала інтегрування; $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \gamma_2$ – функції, залежні від L, k, δ – швидкості дилатації середовища, коефіцієнта зчеплення й кута внутрішнього тертя відповідно; $n = [(1-L)/(1+L)]$.

З віддаленням від центру вибуху напруження зменшується, у результаті чого навколо заряду після зони пластичних деформацій утворюється зона радіальних тріщин, однією з моделей якої є система паралельних тріщин [10, 11]. Принцип крихкого руйнування тіла, згідно з яким розвиток тріщин відбувається тільки, якщо швидкість звільнення енергії пружної деформації перевищить приріст поверхневої енергії тріщини, сформульовано в [12], як $\partial \Delta U / \partial t > 4\gamma$, де: ΔU – зміна пружного потенціалу внаслідок наявності тріщини; γ – поверхнева енергія одиниці вільної поверхні. ΔU дорівнює добутку середньої площі області концентрації напружень на сере-

дне значення щільності пружного потенціалу, пропорційному $P^2 E^{-1}$, тобто $\Delta U = \sqrt{\frac{2}{\pi} \cdot l^2 \cdot P^2 \cdot E^{-1}}$,

де l – довжина тріщини; P – тиск, за якого тріщини розвиваються. Початковий пружний потенціал середовища не залежить від довжини тріщини l , тому згідно з останньою формулою

$$2E\gamma = \sqrt{\frac{2}{\pi} P^2 l}, \text{ звідки – залежність навантаження від довжини тріщини } P^2 = \frac{2(\pi E \gamma)^2}{l}.$$

Зі зростанням навантаження P довжина початкової тріщини l_0 залишається незмінною, поки не досягається значення P , після якого починається процес її розвитку $P = P_{\max} R Q^{-1/3}$, де P_{\max} – максимальний тиск у зарядній камері; R – відстань до заряду; Q – маса заряду.

Маси зарядів ВР у свердловинах розробленого способу із зарядами з лінійно розосередженою ВР: $Q_1 = 0,25(L-l)\pi D^2 \rho_{BP}$; $Q_{i+1} = 0,25(L_0-l)\pi D^2 \rho_{BP}$, де Q_1 – маса першого заряду ВР; Q_{i+1} – маса ВР $i+1$ свердловини ($i=1, 2, \dots, n$); L – довжина першої свердловини; L_0 – висота уступу гірських порід; L – довжина забивки (м); ρ_{BP} – щільність ВР у свердловині; D – діаметр свердловини.

Якщо позначити сумарну величину зарядів, що підриваються в одній серії, як $\sum_{i=1}^n (Q_1 + Q_{i+1})$, то значення P , за якого починається процес руйнування, набуде вигляду

$$P = P_{i_{\max}} \cdot R \sum_{i=1}^n (Q_1 + Q_{i+1})^{-1/3}$$

Кінетична енергія при вибуху серії зарядів визначається [10, 11], як $T = T_1 + T_2$, де T_1 – енергія від імпульсного впливу вибуху; T_2 – енергія стиснених вибухових газів. Тому складові кінетичної енергії середовища, з урахуванням останнього, відповідно дорівнюють

$$T_1 = W_1 P_{i_{\max}} \int_0^t R \sum_{i=1}^n (Q_1 + Q_{i+1})^{-1/3} dt; \quad T_2 = W_2 P_{i_{\max}} \int_0^t R \sum_{i=1}^n (Q_1 + Q_{i+1})^{-2/3} dt, \text{ де } W_1 \approx 4\pi R^2 Q^{-1}; \quad W_2 \approx R Q^{-2/3}.$$

Останні формули визначено за умови, що кінетична енергія на одиницю довжини циліндричного заряду за [13] дорівнює $W = \rho \int_a^\infty \pi r v^2 dr = \frac{\rho_0 \pi a'^2 \cdot a^2}{2(n-1)}$, і вони визначають кінетичну енергію вибуху при розподілі останньої в руйнованому масиві при взаємодії свердловинних зарядів запропонованої конструкції.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Раціональне розподілення енергії вибуху в гірському масиві, що руйнується, досягається за умови використання розробленого авторами способу формування свердловинних зарядів із застосуванням, починаючи з другого ряду, коефіцієнта ($m = 0,025f$) лінійної диференціації їх частин.

Взаємодія свердловинних зарядів запропонованої конструкції при їх підриванні значно зменшує інтенсивність дії вибуху вертикально вниз в масиві, що руйнується, а це забезпечує зменшення зони хаотичних штучних структурних порушень в уступі нижче від дії вибуху, яка здебільшого є нерегульованою.

Список літератури

1. Физика взрыва / Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др. / Под. ред. К.П. Станюковича. - М.: Наука, 1975. - 407 с.
2. Власов О.Е. Основы теории действия взрыва. – М.: ВИА, 1957. – 407 с.
3. Власов О.Е., Смирнов С.А. Основы расчета дробления горных пород под действием взрыва. - М.: Изд-во АН СССР, 1962. - 107 с.
4. Кашель Н.Я. Результаты промышленной проверки скважинных зарядов с воздушными промежутками / Н.Я. Кашель, П.И. Федоренко, С.Н. Кузьмич // Взрывное дело. – 1964. – № 54/11.
5. Друкованый М.Ф. Об оценке использования энергии взрыва при различных параметрах буровзрывных работ / М.Ф. Друкованый, В.М. Комир // Взрывное дело. – 1966. – С. 45–49.
6. Спосіб формування свердловинних зарядів ВР. Патент України № 84967 – 2013 р., Тищенко С.В., Еременко Г.И., Малих Д.Ю., Мартынюк М.В., Кривенко Ю.Ю.
7. Тищенко С.В. Технология взрывной подготовки горного массива // Развитие методов добычи руд черных металлов и пути их дальнейшего совершенствования: Материалы международной научно-технической конференции. – Кривой Рог: ГНИГРИ, 2003. – С. 211-216.
8. Скачков А.А., Жуков С.О. Конструктивный розвиток технології підривання порід свердловинними зарядами з диференційованим енергонасиченням масиву. Збірник наукових праць Національного гірничого університету. 2018. – Дніпропетровськ: - НГУ. вип. 53. - С. 79-87.

9. **Паргон В.З., Черепанов Г.П.** Механика разрушения // Механика в СССР за 50 лет. - М.: Наука, 1972. - Т.3. - 221 с.
10. **Кузнецов В.М.** Математические модели взрывного дела. - Новосибирск: Наука, 1977. - 259 с.
11. **Рижов П.А.** Математическая статистика в горном деле. - М.: Высшая школа, 1973. - 286 с.
12. **Griffith A.A.** The phenomenon of rupture and flow in solids. Phil. Trans. Roy. Soc. A 221, 1920, pp.1201-1206.
13. **Григорян С.С.** Некоторые вопросы математической теории деформирования и разрушения твердых горных пород // ПММ, 1967. - Т.31. - С.157-245

УДК 622.647.21

Л.І. ЄФІМЕНКО, М.П. ТИХАНСЬКИЙ, кандидати техн. наук, доценти,
А.М.ТИХАНСЬКА, асист., Криворізький національний університет

АДАПТИВНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА ЗА КРИТЕРІЄМ ЗНИЖЕННЯ МЕТАЛОЄМНОСТІ ОПОРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Мета. Дослідження навантаження на конструкції конвеєра в екстремальних ситуаціях з метою зниження їх дії, зменшення енерговитрат та металоємності опорних конструкцій за рахунок впровадження адаптивної системи керування швидкістю стрічкового конвеєра.

Методи дослідження. Методи, які використовуються у дослідженні, розроблені в теорії автоматичного керування, обробки випадкових процесів. Також використано наукове узагальнення раніше виконаних досліджень при аналізі літературних і патентних джерел.

Наукова новизна. Пропонується адаптивне керування швидкістю стрічкового конвеєра з врахуванням зміни навантаження на опорні конструкції конвеєра, що проявляється у випадку транспортування вантажопотоку з великими шматками гірничої маси (до 500 мм). Підвищення економічної ефективності досягається за рахунок зменшення енергоспоживання та навантаження на опорні конструкції, що дозволяє знизити їх металоємність.

Керування відбувається за рахунок узгодження режимів транспортування та фактичного вантажопотоку при відсутності повної апріорної (такої, що відома наперед) інформації про гранулометричний склад потоку сировини, зовнішні збурення і граничні умови, тобто адаптивній системі притаманна невизначеність.

Практична значимість. Сучасні конвеєрні лінії мають велику протяжність, тому зменшення навантаження на опорні конструкції дозволяє знизити їх металоємність на 25 – 30%. Вдосконалення експлуатації довгих конвеєрів потребує розробки систем, що оптимізують режим їх роботи за критерієм мінімуму навантаження на опорні конструкції при транспортуванні корисних копалин.

Адаптивне керування стрічковим конвеєром за рахунок регулювання швидкості робочого органу конвеєра з врахуванням параметрів, які постійно змінюються, дозволяє підвищити ефективність роботи виробництва та зменшити металоємність.

Авторами запропоновані принципи побудови автоматизованої системи конвеєра, що відрізняються тим, що враховуються як поточний, так і прогнозований стан вантажопотоку. Своєчасне виявлення зміни гранскладу вантажопотоку дозволяє швидко реагувати на нову інформацію та корегувати управляючі впливи шляхом впровадження адаптивного регулятора.

Результати. Запропоновано впровадження адаптивних системи керування швидкістю стрічкового конвеєра за критерієм зниження металоємності опорних конструкцій, що дозволяють враховувати збурюючі впливи на опори зумовлені зміною складу вантажопотоку, це зменшує навантаження на них та дозволяє зменшити металоємність.

Ключові слова: адаптивне керування, стрічковий конвеєр, металоємність, вантажопотік, динамічне навантаження, автоматична система керування.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-136-140

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Виходячи з особливостей розрахунку і проектування, а також, враховуючи умови роботи конкретної конструкції, оптимізація металоємності опорних металоконструкцій стрічкового конвеєра має кілька напрямів. До них, в першу чергу, слід віднести завдання розподілу внутрішніх зусиль і матеріалу в статично невизначеній системі із заданою геометричною схемою, задачі визначення оптимальних і фізичних параметрів конструктивної форми системи при заданих навантаженнях. По-друге, сюди відносяться способи автоматичного регулювання режимних параметрів конвеєрних установок, а саме, регулювання швидкості руху конвеєрної стрічки.

Конвеєрна установка, яка забезпечена регульованим приводом і автоматичною системою керування режимами транспортування, надає можливості враховувати гірничотехнічні параме-

три матеріалів, що транспортують, нерівномірність вантажопотоку, технічні параметри конвеєрів, взаємний вплив цих параметрів один на одного, фактичне завантаження конвеєра, що дозволяє зменшити навантаження на опорні конструкції. Названі фактори передбачають розробку та впровадження адаптивної системи, що при формуванні керуючої дії враховує їх вплив на навантаження конструкцій за рахунок регулювання швидкості руху конвеєрної стрічки.

При цьому зазначена адаптивна система, що враховує інформацію про вантажопотік, дозволить більш ефективно управляти режимами роботи конвеєрної установки, знижувати навантаження на опорні конструкції конвеєра (став, роликоопори), що в свою чергу впливає на його металоємність.

Аналіз досліджень і публікацій. До сучасних металоконструкцій лінійної частини конвеєра, а саме, конвеєрного ставу пред'являється ряд вимог по міцності, амортизуючій здатності при динамічних навантаженнях, стійкості, мінімальній металоємності, довговічності. Аналіз розрахунків ряду підприємств і науково-дослідних організацій показав, що існуючі методи проектування конвеєрного ставу не повною мірою враховують дійсну картину його навантаження.

Основні розміри конвеєрних ставів призначаються з конструктивних міркувань з залученням галузевих стандартів і нормалей. За прийнятими розмірами проводяться перевірочні розрахунки, які полягають у наступному: вибирається розрахункова схема секції ставу у вигляді рами, зовнішні навантаження задаються у вигляді статично прикладених сил від маси вантажу, стрічки, роликоопори. Крім того, вводиться коефіцієнт перевантаження, величина якого коливається від 1,2 до 1,7 без обґрунтування його величини.

Впровадженням адаптивних систем керування стрічковим конвеєром, які б враховували такі фактори, як: гранулометричний склад вантажу, наявність великих шматків гірничої маси, можливість запуску завантаженого конвеєра (особливо похилого), що формують навантаження опорних конструкцій конвеєра, а саме, ставу та роликоопор займалися недостатньо.

Метою цієї роботи є зменшення металоємності опорних конвеєрних конструкцій та ефективності роботи виробництва за рахунок впровадження адаптивної системи керування, яка враховує при формуванні керуючої дії фактори, що навантажують став автоматизованого конвеєра. Керування відбувається за рахунок сучасного обладнання, що розраховує коефіцієнти налаштування регуляторів з врахуванням факторів, що формують навантаження опорних конструкцій конвеєра.

Таким чином, з'явилася можливість раціонального управління режимом роботи стрічкового конвеєра в залежності від навантаження його опорних конструкцій.

Постановка завдання. Зміна рівня швидкості транспортування, величини натяжного зусилля конвеєрної стрічки, гранулометричного складу вантажу, що транспортується тягне за собою зміну розрахункового навантаження на прогони ставу з боку роликоопор. Спрямоване адаптивне регулювання режимних параметрів, при наявності адаптивних систем керування, дозволяє знижувати навантаження на конструкції в екстремальних ситуаціях, наприклад, при транспортуванні особливо великих шматків вантажу або при запусках завантаженого конвеєра особливо похилого. Це дозволяє зменшити перетин елементів конструкцій без втрати міцності при проектуванні або збільшити довговічність і надійність у діючих конвеєрів.

Таким чином, впровадження адаптивної системи керування транспортуванням корисних копалин є актуальним завданням. Для вирішення цього завдання необхідно встановити закономірності і залежності зміни навантаження опорних конструкцій від режимів роботи стрічкового конвеєра, на основі отриманих закономірностей сформулювати принципи керування конвеєром, що дозволить зменшити конструктивні розміри при проектуванні та металоємність ставу, а у існуючих установок подовжити строк служби, збільшити надійність та зменшити наявність роликів, що не обертаються.

Виклад матеріалу і результати. Розглянемо рішення задачі оптимізації маси підтримуючих конструкцій з урахуванням визначальних умов появи максимальних зусиль від основних та додаткових видів навантаження.

Уявімо масу конвеєрного ставу у вигляді функціонала

$$C = \sum_{j=1}^n l_j [\sigma]^{-1} m_e,$$

де l_j - довжина j -ї ділянки конвеєрного ставу, см; $[\sigma]$ - напруга, що допускається для матеріалу прогонів і стайок, кг/см²; m_e - лінійна маса елемента, що залежить від сумарного згинального моменту

$$m_e = f(M_{i\Sigma})$$

прикладеного до несучої балки секції става.

Згідно прийнятій розрахунковій схемі навантажень, що діють на поздовжню балку секції става, очевидно, що тут діє поперечний вигин, при якому в кожному поперечному перерізі балки, крім згинального моменту, є ще й поперечна сила. У такому випадку, як відомо, треба робити перевірку міцності або підбирати розміри перерізу балки по небезпечному перерізу. Значить і сумарний момент визначається для небезпечного перерізу, як сума моментів від вертикальних M_i^B і горизонтальних M_i^F складових сил, що збурюють, тобто

$$M_{i\Sigma} = \sqrt{(M_i^B)^2 + (M_i^F)^2}$$

Крім того, його можна представити як суму моментів діючих від основних та додаткових видів навантажень без урахування защемлення балки

$$M_{i\Sigma} = M_n + M_K + M_T + M_D,$$

де M_n , M_K , M_T , M_D - відповідно згинальні моменти, викликані потоком вантажу, шматків, тяговим зусиллям та додатковим навантаженням.

Таким чином, підставляючи у функціонал металоємності величину максимально-допустимого навантаження, визначимо масу конвеєрного става, а підставляючи навантаження від потоку вантажу, від великих шматків, тягового зусилля одержимо частину маси става якби обумовлену даним фактором. Відношення частини маси става, зумовленої окремим фактором, до загальної маси конвеєрного става дає вагову значимість ($y\%$) кожного з основних видів навантажень у формуванні металоємності. Зробимо розрахунок, користуючись даними для конвеєрів виробництва ПО НКМЗ типу ЛК 5250 (15341PP).

Навантаження від потоку, як видно, залежить від гранулометричного складу, швидкості транспортування, натягу та інших факторів і складає 45-50% від загального навантаження в усталеному режимі, що за розрахунком визначає 50-58% маси става

$$C_n / C = \left[\frac{\sum_{j=1}^n l_j [\sigma]^{-1} f(M_n)}{\sum_{j=1}^n l_j [\sigma]^{-1} f(M_{i\Sigma})} \right] \cdot 100\% = 50 + 58\%$$

де C_n – частина маси конвеєрного става, обумовлена величиною навантаження на конвеєр від потоку вантажу; $f(M_{i\Sigma})$ - погонна маса елемента, що залежить від потоку матеріалу.

Навантаження від транспортування окремих великих шматків з малою кількістю підсипання або без підсипки взагалі супроводжується ударами шматків по роликкоопорам і становить у відсотках від загального навантаження

$$M_K \cdot 100\% / M_{i\Sigma} = 16 \div 20\%,$$

що в загальній вазі секції става становить

$$C_K / C = \left[\frac{\sum_{j=1}^n l_j [\sigma]^{-1} f(M_K)}{\sum_{j=1}^n l_j [\sigma]^{-1} f(M_{i\Sigma})} \right] \cdot 100\% = 18 \div 22\%,$$

де C_K – частина маси конвеєрного става, обумовлена навантаженням від шматків вантажу; $f(M_K)$ – погонна маса елемента, що залежить від великих шматків вантажу.

На решту навантажувальних факторів (тягове зусилля, провисання стрічки з вантажем, коливання стрічки) припадає до 35% всього навантаження, що за розрахунком формує 24-28% металоємності става.

Під час пуску конвеєра (розглядаємо пуск завантаженого конвеєра, як більш важкий випадок) картина навантаження става дещо змінюється. У початковий момент пуску навантаження від потоку матеріалу відсутнє, так як ще немає руху (немає поняття про потік, як такий). У цей момент на конструкції става діє момент $M_{B\Sigma}$ від сумарного вертикального навантаження гірничої маси, стрічки, роликкоопор

$$M_{B\Sigma} = x (q_r + q_n + q_{p.o}),$$

де x – відстань від небезпечного перерізу до опори конвеєрного става, м. Цей момент становить у загальному навантаженні при пуску

$$(M_{B\Sigma} / \sum_{i=1}^m M_{in}) \cdot 100\% = 46 \div 50\%,$$

що наступним чином відбивається на металоємності става конвеєра

$$\left[\frac{\sum_{j=1}^n l_j [\sigma]^{-1} f M_B}{\sum_{j=1}^n l_j [\sigma]^{-1} f (\sum_{i=1}^m M_{in})} \right] \cdot 100\% = 50 \div 58\%,$$

де остання сума – сумарне навантаження на секцію ставу при пуску; m – кількість роликкоопор в секції; j – порядковий номер даної роликкоопори ставу в секції.

Навантаження від окремих великих шматків, у вигляді імпульсного удару, навпаки, збільшується, тому що змінюється швидкість зіткнення шматка з роликкоопор при пуску.

При пускових режимах підвищений вплив надає тягове зусилля, особливо за наявності роликів, що не обертаються. Навантаження від тягового зусилля, посилені впливом на роликкоопору стрічки з вантажем, провисає. Ці фактори створюють згинальний момент M_T , який у загальному навантаженні при пуску становить 10-12%, а в металоємності секції ставу 22-18%.

Коливання конвеєрного ставу, викликані самими різними причинами, мають особливе значення при призначенні металоємності конструкцій, особливо при вирішенні завдань щодо їх полегшення. У більшості своїй вони впливають на втомні накопичення деформації в елементах конструкцій.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Аналіз методів розрахунку окремих елементів опорних конструкцій показує, що є значний розкид металоємності конвеєрів одного виду і значення в залежності від методів, застосовуваних транспортними організаціями, так як, в більшості випадків для спрощення ряд навантажувальних факторів враховують коефіцієнтами запасу міцності. Такий підхід криє в собі резерв зниження металоємності. Застосування автоматизованих методів розрахунку опорних конструкцій на ЕОМ із завданням уточнених навантажень для найбільш важких режимів роботи установки, дозволяє враховувати:

динамічні процеси, що відбуваються в елементах ставу;

зміну гранулометричного складу вантажу, а саме, наявність великих шматків вантажу та інші умови експлуатації;

забезпечує уніфікований підхід до розрахунку.

Як наслідок, зниження металоємності ставу на стадії проектування на 10-14% на одному конвеєрі типу ЛК-5250. Сучасні конвеєрні лінії мають велику протяжність, тому зменшення навантаження на опорні конструкції дозволяє знизити їх металоємність на 25 – 30%. Вдосконалення експлуатації довгих конвеєрів потребує розробки систем, що оптимізують режим їх роботи за критерієм мінімуму навантаження на опорні конструкції при транспортуванні корисних копалин.

Впровадження адаптивної системи керування дозволяє підвищити ефективність роботи виробництва та зменшити металоємність. При розробці таких систем необхідно враховувати запропоновані принципи побудови автоматизованої системи конвеєра, що відрізняються тим, що враховуються як поточний, так і прогнозований стан вантажопотоку. Своєчасне виявлення зміни гранскладу вантажопотоку дозволяє швидко реагувати на нову інформацію та корегувати управляючі впливи шляхом впровадження адаптивного регулятора.

Список літератури

1. **Лобов В.Й., Єфіменко Л.І., Тиханський М.П.** Автоматизовані системи керування конвеєрними установками. Монографія. Видавничий центр ДВНЗ «КНУ». Кривий Ріг. 2015. 450с.
2. **Єфіменко Л.І., Тиханський М.П.** Моделювання навантаження на опорні конструкції важких стрічкових конвеєрів. *Вісник Криворізького національного університету* : збірник наукових праць. Вип.34. Кривий Ріг, 2013. С.34-37.
3. **Бугров С.В.** Адаптивная система управления с использованием стабилизирующего эффекта девиации коэффициента регулятора / С.В. Бугров, Р.А. Лисовой, В.А. Жмудь, А.Б. Колкер // *Научный вестник НГТУ*. 2010. № 1(38). С. 157–160.
4. **Ишимцев Р.Ю.** Обоснование структуры и критериев оптимизации САУ непрерывного технологического процесса. Сборник научных трудов НГТУ. Новосибирск, 2008. № 2(52). С. 3 – 10.
5. **Ким Д. П.** Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. 2-е изд., испр. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. Т. 2.
6. Detecting Process Variations in Low-End PID Autotuners. Alberto Leva, GianAntonio Magnani. 2002 IFAC. 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain.
7. **Александров А.Г.** Оптимальные и адаптивные системы: Электронная книга. М., 2003. 278 с
8. **Єфіменко Л.І., Тиханський М.П., Тиханська А.М.** Визначення навантаження на став автоматизованого конвеєра від швидкості транспортування. *Гірничий вісник*. 2018. № 104. С.173-178. DOI: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-173-178

9. **Лобов В.Й.** Автоматизовані системи керування конвеєрними установками: монографія / В.Й. Лобов, Л.І. Єфіменко, М.П. Тиханський, С.А. Рубан. Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2015. 450 с. ISBN 978-966-132-027-6
10. **Новиков Е.Е., Смирнов В.К.** Теория ленточных конвейеров для крупнокусковых горных пород. Киев: Наукова думка, 1998. 184 с.
11. **Монастырский В.Ф.** Экспериментальные исследования грузопотока крупнокускового груза / В.Ф. Монастырский, В.Ю. Максютенко, В.И. Плахотник, В.И. Бесчастный. Шахтный и карьерный транспорт. М.: Недра, 1999. Вып. 11. С. 7-14.
12. **Коваль А.В.** Исследование динамических нагрузок на выбор конструктивных параметров роликкоопор шахтных ленточных конвейеров: Дис. канд. техн. наук. М., 1995.
13. **Козлов Е.М.** Определение нагрузок на основные элементы тяжелых ленточных конвейеров ГОКов. Шахтный и карьерный транспорт. М.: Недра, 2000. С. 24-27.
14. **Єфіменко Л.І., Тиханський М.П.** Оценка влияния отдельных нагрузок действующих на формирование металлоемкости става ленточного конвейера. *Вісник Криворізького національного університету* : збірник наукових праць. Вип.33. Кривий Ріг, 2013. С.211-215.
15. **Абрамов, О. В., Розенбаум А. Н.** Прогнозирование состояния технических систем. М.: Наука, 1990. 126с.
15. **Тиханський М.П., Єфіменко Л.І.** Методи й системи діагностики та прогнозування технічного стану стрічкових конвеєрів. *Вісник Криворізького технічного університету* : збірник наукових праць. Вип.21. Кривий Ріг, 2008. С.163-167
16. **Єфіменко Л.І., Тиханський М.П.** Принципи побудови автоматизованої системи діагностики технічного стану конвеєра. *Вісник Криворізького технічного університету* : збірник наукових праць. Вип. 25, 2010. С. 163-167

УДК 621.771

В.А. ЧУБЕНКО, Т.П. ЯРОШ, кандидати техн. наук, доценти, А.А. ХІНОЦЬКА, ст. викл.
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ СТРУКТУРИ МЕТАЛУ В ПРОЦЕСАХ ПРОКАТУВАННЯ МЕТАЛОВИРОБІВ

Мета роботи полягає у тому, щоб дослідити структурні перетворення металів і сплавів при обробці тиском для встановлення режимів обтиснення, які дозволять підвищити якість металовиробів. При розробці нових технологічних процесів прокатування особлива увага приділяється якості отриманих металовиробів, яка цілком залежить від внутрішньої будови металів і сплавів. У зв'язку з цим вивчення впливу режимів обтиснення на структуру металу є задачею актуальною, вирішення якої забезпечить отримання високоякісної продукції.

Методи дослідження базуються на використанні фундаментальних положень матеріалознавства та теорії обробки металів тиском. Експериментальні дослідження проводились з урахуванням особливостей визначення структури металу з використанням металографічного мікроскопу.

Наукова новизна полягає у вивченні впливу режиму обробки при обтисненні на ступінь аморфності металів і металевих сплавів.

Практична значимість роботи полягає у встановленні раціональних режимів обробки, що дозволяють підвищити якість металовиробів за рахунок збільшення ступеня аморфності.

Результати. Було здійснено мікроструктурний аналіз будови металів і сплавів та досліджено металографічні знімки мікрошліфів низьковуглецевої сталі, які показали, що структура металів і металевих сплавів складається з зерен і границь між ними. Запропоновано границі зерен вважати аморфними. Визначено залежність ступеня аморфності сталі від величини зерна внутрішньої будови та досліджено вплив швидкості охолодження на відношення температури аморфізації до температури плавлення, що дозволяє керувати процесом кристалізації. Проаналізовано вплив режимів обтиснення при обробці на зміну структури металовиробів. Встановлено режими обтиснення, що забезпечують інтенсивне збільшення величини аморфізації низьковуглецевої сталі. Визначено способи збільшення ступеня аморфності у внутрішній структурі сплавів, які забезпечують підвищення якості металовиробів.

Ключові слова: внутрішня будова, структура, зерна, мікрошліф, режими обтиснення, аморфізація, ступінь деформації.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-140-144

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Майже вся металопродукція, що використовується в машинобудуванні, будівництві, транспорті, авіації, верстатобудуванні та інших галузях виготовляється за допомогою процесів прокатування. Такі металовироби повинні витримувати великі навантаження, що діють на них, повинні задовольняти високі вимоги не тільки за точністю розмірів, але й за будовою внутрішньої структури, яка впли-

ває на їхню міцність, зносостійкість, витривалість, працездатність тощо. Визначення раціональних режимів обтиснення дозволить поліпшити об'ємноструктурні перетворення в сталях при обробці металів тиском і дасть можливість керувати якістю прокатних виробів при мінімальних енергетичних витратах. Тому дуже важливою і своєчасною є розробка нових науково обґрунтованих технологій управління якістю прокату за рахунок об'ємноструктурних перетворень в металевих виробках для набуття ними потрібних властивостей.

Аналіз досліджень і публікацій показав, що при виготовленні металургійної продукції суттєва увага приділяється поліпшенню якості металовиробів [1, 2], їх зовнішніх і внутрішніх властивостей. Обробка металів тиском [3-6] здійснюється при великих навантаженнях на прокатне обладнання, де мають місце істотні деформації металів і сплавів і витрачаються великі зусилля.

Метали і сплави, що підлягають пластичній деформації при обробці металів тиском, мають кристалічну будову й упорядковане розташування атомів в об'ємі. Сукупність елементарних комірок утворює в просторі в металевих кристалічних тілах кристалічну решітку. Метали складаються з кристалів, що мають неправильну форму. Ці кристали мають назву зерен [7, 8, 9]. Фрагменти кристалів різного розміру зароджуються в розплавах під час охолодження, де вони мають неупорядковану структуру, яка складається з внутрішніх атомів і зовнішньої розпушеної зони об'ємом приблизно 3-6 %. При подальшому охолодженні металів і сплавів зародки формують кристали, а зовнішня розпушена неупорядкована зона стає міжзерновою границею, яка за структурою ближче до аморфного стану [7, 10], продовжуються зрощення в сталі зерен за рахунок дифузії атомів і при цьому звужуються міжзернові границі.

Процеси обробки металів тиском можливі при умові, якщо метали, що деформуються, характеризуються пластичністю, тобто здатністю безповоротно змінювати свою форму без руйнування [2, 3, 6, 10-12]. При обтисненні металу під час прокатування утворюється складний напружений стан [13-15], який має вплив на подальші процеси деформації. Під час обробки тиском зерна металів і сплавів змінюють свою форму, руйнуються, утворюючи нові додаткові поверхні внаслідок здрібнення зерен і утворення нових дислокацій, вакансій, пор і тріщин. Порушення суцільності матеріалу, що деформується, є не тільки небажаним явищем, але й недопустимим. При деформації полікристалічного тіла переміщення дислокацій при відсутності перешкод відбувається до виходу на поверхню й утворення сходинки шириною в одну міжатомну відстань. Перешкоди (сторонні включення, границі зерен тощо) гальмують переміщення дислокацій, що викликає локальну концентрацію напружень, при визначеному значенні яких може виникнути мікротріщина. Звичайно, це здійсниться, коли накопичена в локальному об'ємі пружна енергія перевищить поверхневу енергію нової поверхні (стінок тріщини). Руйнування пластичних матеріалів відбувається після підготовчої стадії утворення мікротріщини – деякої пластичної деформації. Тому дуже важливо дослідити структуру металів і сплавів при обробці тиском з метою підвищення якості й уникнення руйнування.

Постановка задачі. Підвищення якості металовиробів при обробці тиском можна досягти при отриманні раціональної внутрішньої структури металів і сплавів, що потребує вирішення наступних задач:

- дослідити структуру сталевих виробів під час кристалізації;
- з'ясувати ступінь впливу режимів обтиснення при прокатуванні на внутрішню структуру металу.

Викладення матеріалу та результати. Вважаючи, що на границях зерен концентруються атоми інших елементів і дислокації, на шліфах (рис. 1) були сфотографовані границі зерен, які мають товщину, що може дорівнювати 0,2-0,4 мкм [16, 17]. У дослідженнях припускається, що міжзернові границі в металах за структурою подібні до застиглих розплавів і на їх утворення витрачається теплота плавлення відповідних металів і сплавів.

На рис. 1 показано структуру литого виробу, виготовленого з низьковуглецевої сталі, де видно розташування зерен і границь між ними у недеформованому стані. Очевидно, що товщина міжзернових границь у приповерхневих металічних зернах є більшою у порівнянні з внутрішніми міжзерновими границями, бо перші утворилися внаслідок розриву зерен, а другі – внаслідок остигання й ущільнення розплаву.

Середні величини номерів зерен (G), середнього діаметра зерна (d_m) і середнього числа зерен в 1 мм^3 (N_v) згідно Держстандарту [18] наведено в табл. 1. Ці вихідні дані були використані

для розрахунку величини середньої поверхні міжзернової границі, її об'єму при товщині, рівній параметру чарунки заліза, та її частки в загальному об'ємі (табл. 1).

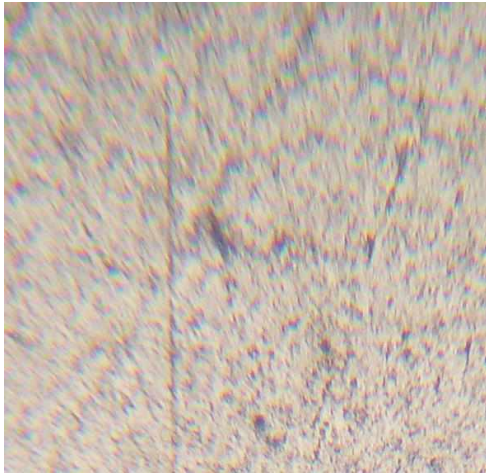


Рис. 1. Металографічний знімок низьковуглецевої сталі (x200000)

Розрахунок поверхні зерна здійснювався за формулою [7]

$$F_m = \frac{6}{2} \cdot d_m^2 N_v, \quad (1)$$

де d_m – середній діаметр зерна; 6 – число граней у куба; 2 – коефіцієнт, який свідчить, що міжзернова поверхня розподіляється на два зерна; N_v – середнє число зерен в 1 м^3 .

На відміну від раніше виконаних розрахунків, коли товщина розпушеної зони приймалася рівною $0,08 \text{ мкм}$ [7], у даному випадку прийнята товщина міжзернової поверхні в аустенітній сталі з вмістом вуглецю в межах $0-2 \%$ рівною $3,6 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, тобто середнє значенні між $(3,56-3,63) \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

Як видно з табл. 1, при товщині міжзернової границі $3,6 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ її об'єм наближається до об'єму зерен розміром $2,7 \text{ мкм}$. Для з'ясування відповіді на питання, що за таких умов визначає міцність металу – зерна чи їхні границі, продовжимо табл. 1 ще на шість номерів (до 20) з розміром зерен до $0,216 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. При цьому ступінь аморфності сталі досягає 100% . Аморфність сталі A розраховується за формулою [7]

$$A = \frac{V_{зг} \cdot 10^{-22}}{V_m \cdot 10^{-18}} = \frac{3,6 \cdot 10^{-10} \cdot 3,14 \cdot 10^{-12} d_m^2}{0,5236 \cdot 10^{-18} d_m^3} = \frac{21,6 \cdot 10^{-4}}{d_m}, \quad (2)$$

де $V_{зг}$, V_m , d_m – об'єм зернових границь, об'єм зерна та середній діаметр зерен відповідно; $3,6 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ – товщина границі зерна.

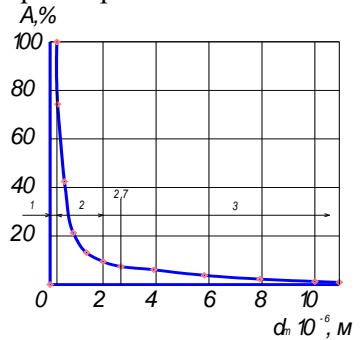
Таблиця 1

Геометричні співвідношення в сталі залежно від розміру зерен

Номер зерна G [18]	Середній діаметр зерна d_m , м , $\times 10^{-6}$ [18]	Середнє число зерен в 1 м^3 , $N_v \cdot 10^9$ [18]	Об'єм зерна V_m , м^3 , $\times 10^{-18}$	Поверхня зерна F_m , м^2 , $\times 10^{-12}$	Об'єм границі зерен $V_{зг}$, м^3 , $\times 10^{-22}$	Частка об'єму границі зерна, %
- 3	1000	1	523,6	3,14	11,3	0,022
- 2	707	2,8	185,04	1,57	5,652	0,03
- 1	500	8	65,45	0,765	2,826	0,043
0	353	22,6	23,03	0,516	1,86	0,081
1	250	64	8,18	0,196	0,705	0,086
2	177	181	2,9	0,0984	0,354	0,122
3	125	512	1,02	0,0491	0,177	0,174
4	88	1448	0,357	0,0243	0,0875	0,245
5	62	4096	0,125	0,0121	0,0436	0,349
6	44	11585	0,0446	0,0061	0,022	0,493
7	31	32768	0,0156	0,003	0,011	0,705
8	22	92682	0,0056	0,00152	0,0055	0,982
9	15	262144	0,00176	0,00071	0,0026	1,48
10	11	741485	0,0007	0,00038	0,0012	1,71
11	7,9	2097152	0,00026	0,0002	0,00072	2,77
12	5,6	5931008	0,000092	0,0001	0,00036	3,91
13	3,9	16777216	0,00003	0,00005	0,00018	6,0
14	2,7	47449064	0,00001	0,000023	0,000083	8,3
15	2,0	123809524	0,0000042	0,0000126	0,000045	10,7
16	1,5	296610169	0,00000177	0,0000071	0,0000254	14,35
17	1,0	1019231000	0,000000524	0,00000314	0,0000113	21,56
18	0,5	8916666900	0,000000065	0,000000785	0,0000028	43,1
19	0,3	37851400000	0,000000014	0,000000283	0,00000102	72,86
20	0,216	100566600000	0,0000000053	0,000000146	0,00000053	100,0

Як видно з рис. 2, стандарт [18] закінчується зерном розміром $2,7 \cdot 10^{-6}$ м і наявністю в структурі сталі аморфності 8,3 % [7]. При зменшенні розміру зерен до $0,216 \cdot 10^{-6}$ м у структурі сталі її ступінь аморфності збільшується до 100 %. Цей діапазон $(0,216 \dots 2,7) \cdot 10^{-6}$ м зміни розміру зерен є проміжним (перехідним) до нанокристалічного стану з діаметром зерен менше 216 нм.

Рис. 2. Залежність ступеня аморфності сталі від величини діаметра її зерен: 1 – аморфна сталь нанокристалічна ($d_m < 0,216 \cdot 10^{-6}$, м); 2 – проміжні кристали ($0,216 \cdot 10^{-6} < d_m < 2,7 \cdot 10^{-6}$, м); 3 – зерна розміром $2,7 \cdot 10^{-6} < d_m < 10^{-5}$, м

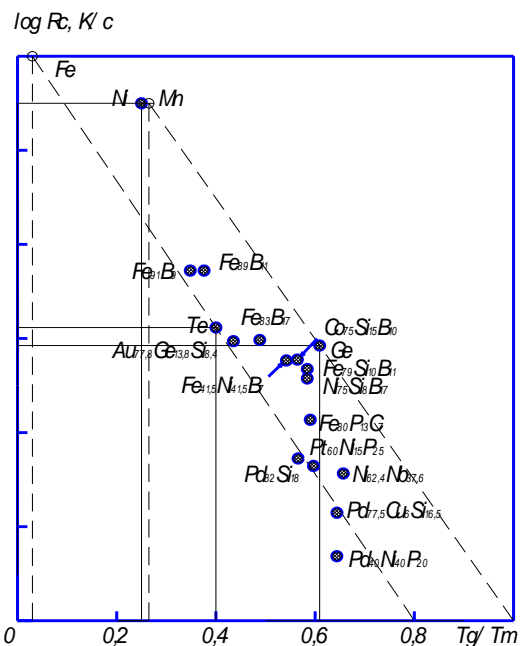


У діапазоні нанокристалічного стану були отримані аморфні плівки *Mn, Cr, Ga, As, Te, Sb, Al, V, Pd, Zr, Hf, Nb, Na, W, Re, Mo* методом вакуумного напилення [15].

Приведені дані дають можливість проаналізувати зв'язок частки аморфізованого шару, який утворився під час кристалізації, від критичної швидкості охолодження. Для цього була побудована графічна залежність (рис. 3) логарифму швидкості охолодження від відношення температури аморфізації T_q до температури плавлення T_m (T_q/T_m), на яку нанесли відомі дані для різних розплавів металів і сплавів [7]. Усі дані скупчені у певній ділянці графіку, що обмежена двома паралельними штриховими прямими, які описуються узагальненим рівнянням $\log Rc = f(T_q/T_m) = (13,49 \dots 15,732) T_q/T_m$.

Такі залежності дають змогу виявити наявність металів і сплавів, які мають однакові швидкості охолодження при навіть досить суттєвій розбіжності у величинах відношення їх температури аморфізації до температури плавлення (T_q/T_m). Як приклад можна навести *Ni* і *Mn*, *Fe₉₁B₉* і *Fe₈₉B₁₁*, *Au_{77,8}G_{13,8}Si_{8,4}* і *Fe₈₃B₁₇*, *Fe_{41,5}Ni_{41,5}B₇* і *Co₇₅Si₁₅B₁₀*, *Pd₈₂Si₁₈* і *Ni_{62,4}Nb_{37,6}* тощо.

Рис. 3. Співвідношення (кореляція) між критичною швидкістю охолодження Rc і відношенням температури аморфізації до температури плавлення (T_q/T_m)



В основі цієї закономірності лежить припущення про єдину фізичну структуру кристалічної будови металевих сплавів, незважаючи на існуючі відмінності в їхньому хімічному й елементарному складі. Тому можна зробити висновок про змогу виготовляти металовироби з визначеним ступенем аморфізації шляхом зміни швидкості охолодження.

При виконанні досліджень був з'ясований вплив режиму обтиснення на структури металу. Дані досліджень дозволили розрахувати розмір зерна та частку аморфізованого шару в умовах холодного прокатування, що приведено в табл. 2. При розрахунках було прийнято, що товщина міжзернових границь є величиною постійною.

З табл. 2 видно, що підвищення ступеня деформації приводить до збільшення ступеня аморфності. Це дає підстави вважати, що холодну обробку металовиробів бажано виконувати при більш інтенсивних режимах обтиснення.

Таблиця 2

Дослідження впливу режиму обтиснення на зміну внутрішньої структури металу

Ступінь деформації, %	Розмір зерна, мкм		Ступінь аморфності, %
	вздовж деформації	впоперек деформації	
15	17	15	14
25	15	12,0	28
50	14	28	52

Висновки та напрямок подальших досліджень. Металографічне дослідження, виконане для вивчення мікроструктури низьковуглецевої сталі, показало, що внутрішня будова сталевих виробів складається з зерен і границь між ними, пор, вакансій. Запропонувавши границі зерен

вважати аморфними, виконані розрахунки об'єму зерен і міжзернових границь у металевих виробках. Визначено режими обтиснення, які забезпечують інтенсивне збільшення ступеня аморфності металу та сплаву при обробці та дозволяють підвищити якість металовиробів.

У подальшому необхідно більш детально дослідити зміни внутрішньої будови металовиробів при обтисненні з метою з'ясування характеру залежності ступеня аморфності від режиму обробки для різних металевих сплавів.

Список літератури

1. **Zhbanova O.M., Saithareyev L.N., Skidin I.E., Shapovalova N.N., Gubin G.G** Investigation of the influence of electro-impulse current on manganiferous liquid-alloy. Proceedings of the International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2018, Sumy, Ukraine. P. 207-213 https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_22.
2. **Viktoriya Chubenko, Alla Khinotskaya, Tatiana Yarosh and Levan Saithareiev.** Sustainable development of the steel plate hot rolling technology due to energy-power process parameters justification / The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020), Kryvyi Rih, Ukraine, Edited by Semerikov, S.; Chukharev, S.; Sakhno, S.; Striuk, A. and etc.; E3S Web of Conferences, Volume 166, id.06010. May 2020, DOI: 10.1051/e3sconf/202016606009.
3. **Василев Я.Д.** Теорія поздовжньої прокатки / **Я.Д. Василев, О.А. Мінаєв.** – Підручник. – Донецьк: УНІТЕХ, 2009. – 488 с.
4. Технологія процесів обробки металів тиском: навчальний посібник / **В.А. Чубенко, А.А. Хіноцька** – Кривий Ріг: Видавець Чернявський Д.О., 2020 – 208 с.
5. **Попович В.В.** Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: підручник / **В.В. Попович, В.В. Попович.** – Львів: Світ, 2006. – 624 с.
6. Теорія обробки металів тиском / **В.М. Данченко, В.О. Грінкевич, О.М. Головка** – Підручник. – Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с.
7. Дослідження об'ємноструктурних і енергетичних перетворень в сталях при прокатуванні. Монографія/**В.А. Чубенко, А.А. Хіноцька.** - Кривий Ріг: Видавництво (ФО-П Чернявський Д.О.), 2018. – 178 с.
8. Матеріалознавство. Підручник / **Є.Г. Афгандіянц, О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько** // Київ: Вища освіта, 2012. – 548 с.
9. Матеріалознавство. Підручник / **С.С. Дяченко, І.В. Дошечкіна, А.О. Мовлян, Е.І. Плешаков** // Харків: ХНАДУ, 2007. – 440 с.
10. **Губенко С.И.** Парусов В.В. Деформация металлических материалов: Учебное пособие для вузов. Днепропетровск: Арт Пресс, 2006. – 36 с.
11. **Губенко С.И., Большаков В.И.** Физические основы пластической деформации металлов: Учебное пособие для вузов. Днепропетровск: ПГАСА, 2004. – 126 с.
12. **Данченко В.М.** Обробка металів тиском: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів з напрямом «Металургія». – Дніпропетровськ: Пороги, 2006. – 183 с.
13. Исследование контактных напряжений при однозонном скольжении металла в валках/ **О.П. Максименко, В.М. Самохвал, О.Е. Лейко** // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2007. – № 4. – С. 52-55.
14. Исследование предельных условий захвата при прокатке высоких полос / **О.П. Максименко, С.С. Зелянова**// Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 5. – С. 32-35.
15. **К. Судзуки, Х. Фудзимори, К. Хасимото.** Аморфные металлы. – М.: Металлургия, 1987. – 328 с.
16. **Мала гірнича енциклопедія** : у 3 т. / за ред. **В.С. Білецького.** – Д. : **Донбас**, 2004. – Т. 1 : А – К. – 640 с.
17. ДСТУ 8975:2019 Сталь. Методи випробування та оцінювання мікроструктури
18. ДСТУ 8972:2019 Сталі та сплави. Методи виявлення та визначення величини зерна.

УДК 528.48

О. Є. КУЛІКОВСЬКА, д-р техн. наук, проф., Криворізький національний університет
В.О. КАТУШКОВ, д-р техн. наук, проф.,
 Київський національний університет будівництва і архітектури

ГЕОДЕЗИЯ, КАРТОГРАФИЯ ТА КАДАСТР В ЯПОНІ

Мета. У зв'язку з появою сучасних вимог щодо забезпечення необхідною інформацією органів державної влади та органів місцевого самоврядування, зацікавлених підприємств, установ і організацій, а також громадян з метою регулювання земельних та інших відносин, визначення розміру плати за землю і цінності земель у складі природних ресурсів, контролю за використанням та охороною земель, економічного, екологічного обґрунтування бізнес-планів та господарських проектів постала мета проаналізувати практику організації геодезичних, картографічних і кадастр-

рових робіт за кордоном на прикладі розгляду історії та сучасного стану картографо-геодезичного забезпечення, проведення кадастрових робіт на території Японії.

Методи. Поставлена мета та завдання дослідження зумовили використання загальнонаукових підходів, логічних законів побудови висновків, спеціальних методів пізнання. При виконанні завдань дослідження спиралося на світовий досвід застосування описового методу, порівняльно-історичного методу (компаративізму), історико-типологічного методу на підставі комплексного та системного підходів. Інформаційною базою проведення дослідження слугували збірники наукових праць, періодичні фахові видання, Інтернет-ресурси, нормативні документи.

Наукова новизна. Схарактеризовано вибір ефективних методів практики організації геодезичних, картографічних і кадастрових робіт за кордоном на прикладі розгляду історії і сучасного стану картографо-геодезичного забезпечення, проведення кадастрових робіт на території Японії.

Практична значимість. Відзначається цільовим спрямуванням даного дослідження для потреб фахівців геодезичної галузі та для землевпорядників для організації ефективної роботи щодо методів та способів збирання просторових даних, які можуть забезпечити оперативне автоматизоване отримання картографічної інформації з заданою точністю і необхідним обсягом інформації як для потреб країни, так і зацікавлених користувачів.

Результати. У роботі розглянуто історію та сучасний стан картографо-геодезичного забезпечення закордонної території, виконано аналіз практик організації геодезичних, кадастрових і картографічних робіт управлінням геопросторовою інформацією Японії. Показано правила проведення моніторингу та обстеження територій і споруд, описано правила проведення національної геодезичної й картографічної діяльності, які служать основою для землеустрою. Досліджено впровадження нової концепції інфраструктури просторових даних, яка одержала назву «цифрова Японія» і є доступною для всіх в Інтернеті.

Ключові слова: геодезія, картографія, кадастр, Японія, інфраструктура геопросторових даних, моніторинг

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-144-151

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Оскільки геодезичні, картографічні, землевпорядні роботи відносяться до робіт, що мають загальнодержавне значення і багатофункціональне призначення, то необхідно забезпечити їх перспективну ефективну організацію і відповідне достойне фінансування [11]. Разом з тим, останнім часом спостерігається недостатня увага до науково-виробничого потенціалу, технологічного забезпечення та матеріально-технічної бази в Україні, хоча певні кроки у країні здійснено.

Забезпечення необхідною інформацією органів державної влади та органів місцевого самоврядування, зацікавлених підприємств, установ і організацій, а також громадян з метою регулювання земельних та інших відносин, визначення розміру плати за землю і цінності земель у складі природних ресурсів, контролю за використанням та охороною земель, економічного та екологічного обґрунтування бізнес-планів та господарських проектів вимагає організації створення єдиної державної системи картографо-геодезичних робіт [3]. Для цього необхідні високої якості картографо-геодезичні матеріали, які б давали можливість достатньо повно і детально відобразити топографічну ситуацію, тобто потрібно відповідне картографо-геодезичне забезпечення виконання таких робіт.

Аналіз досліджень і публікацій. Функціонування державних земельних кадастрів, картографо-геодезичних служб висвітлено у працях науковців: Н.М. Бавровської [1], В.М. Заяць [2], Ю.О. Карпінського [4-8], А.А. Лященко [9], А.Г. Мартин [10], О.В. Тихенко [12], І.С. Тревого [13], І.В. Юрченко [15] та ін. Наприклад, концептуальні засади оцінювання та забезпечення якості геопросторових даних показано в роботі Ю.О. Карпінського, А.А. Лященка, М.В. Горковчука, сучасному стану та проблемам земельного кадастру в Україні присвячено роботу О.В. Тихоненко, особливості функціонування національної кадастрової системи нашої країни показано в роботі Н.М. Бавровської, про формування кадастрової реєстраційної системи викладено у монографії А.Г. Мартина. Юрченко І.В. проаналізував досвід країн Європи щодо управління земельним кадастром, дослідив діяльність державних агентств із управління земельним кадастром країн Європи та України. І.С. Тревого докладно виклав дослідження щодо стану і перспектив використання кадастрової карти України.

Постановка задачі. Зрозуміло, що важливими завданнями перспективного розвитку української геодезії, картографії та кадастру є розробка наукових основ системного картографування і картографічного моделювання, пошуки нових видів, типів карт, які глибоко і всесторонньо відображали б взаємозв'язки та динаміку природних і соціально-економічних явищ; розробка пакетів програм для автоматизованого створення інвентаризаційних карт на основі статистичних даних; широке використання матеріалів космічного знімання; формування нових напрямків тематичного картографування: еколого-географічного, медико-географічного, раціонального природокористування та видання карт, збільшення цифрових топографічних карт.

Прискоренню вирішення проблем по створенню та оновленню топографічних карт і планів сприятиме застосування ГНСС та ГІС-технологій, дистанційного зондування Землі. Використовування різних систем координат, відмінної системи розграфлення і номенклатури ускладнює їх розв'язання. Разом з тим, сучасні технології, вивчення та застосування досвіду фахівців інших країн дозволить здійснювати всі ці процеси ефективно і раціонально.

Викладення матеріалу і результати. Управління геопросторовою інформацією Японії (GSI), будучи компетентним органом моніторингу і обстеження, проводить національну геодезичну і картографічну діяльність, які служать основою для землеустрою [14]. Структура GSI у вигляді організаційної діаграми представлена на рис. 1, 2.



Рис. 1. Структура GSI [14]

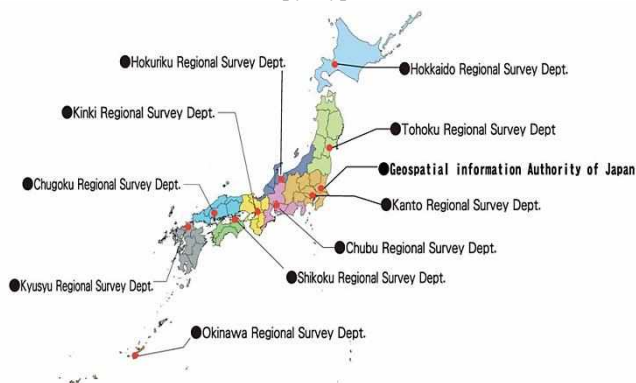


Рис. 2. Розташування Головного офісу GSI і регіональних офісів [14]

Історично роботи розпочато з 1869 року, коли в управлінні географічного Департаменту Міністерства державної служби було створено відділ кадастрової карти. Пізніше у 1888 році він був реорганізований в Японський Імператорський Землевпорядний інститут, а в 1945 році став Інститутом географічної зйомки [14].

У квітні 2010 року офіційна англійська назва була змінена на Управління геопросторової інформації Японії «Geospatial Information Authority of Japan».

Дослідження, що виконуються GSI, надають позиційні дані (довготи і широти) суші і висот від середнього рівня моря. Тріангуляційні пункти і точки відліку дають точне положення й висоту конкретної точки на Землі, відповідно. Сьогодні в додаток до них на базі GPS встановлюються пункти для точних позиційних вимірювань, де безперервно спостерігаються сигнали з супутників GPS. Ці контрольні точки широко використовуються для таких цілей, як опитування населення, що проводяться національним урядом і іншими державними органами, для спостереження за переміщеннями земної кори за допомогою безперервних і повторних обстежень, а також для досліджень по запобіганню стихійних лих, включаючи дослідження землетрусів.

Ще одним важливим завданням GSI є підготовка різних базових карт, зокрема топографічних карт серії 1:25000, що охоплюють всю країну. Ці карти використовуються в якості основи для карт різних державних і приватних секторів, таких як адміністративних карт регіонів, дорожніх карт, тематичних карт (карт землекористування, карт земельних умов, карт стану вулканічних земель, карт активних розломів у міській місцевості тощо), які є ефективним інструментом попередження стихійних лих і національного розвитку. Ці карти є в паперовому та цифровому вигляді. Публікуються також аерофотознімки.

Відповідаючи потребам часу, введена нова концепція інфраструктури, яка одержала назву «цифрова Японія». Віртуальне і реальне уявлення про територію країни реалізоване шляхом інтеграції різної геопросторової інформації і зроблене доступним для всіх в Інтернеті.

Будучи єдиним відповідальним органом за проведення національних геодезичних вимірювань і складання карт, GSI активно бере участь у міжнародному співробітництві в галузі геодезії і картографії, а також в галузі наук про Землю.

Відповідаючи потребам часу, введена нова концепція інфраструктури, яка одержала назву «цифрова Японія». Віртуальне і реальне уявлення про територію країни реалізоване шляхом інтеграції різної геопросторової інформації і зроблене доступним для всіх в Інтернеті.

Відповідаючи потребам часу, введена нова концепція інфраструктури, яка одержала назву «цифрова Японія». Віртуальне і реальне уявлення про територію країни реалізоване шляхом інтеграції різної геопросторової інформації і зроблене доступним для всіх в Інтернеті.

Будучи єдиним відповідальним органом за проведення національних геодезичних вимірювань і складання карт, GSI активно бере участь у міжнародному співробітництві в галузі геодезії і картографії, а також в галузі наук про Землю.

GSI створила і обслуговує приблизно 130000 різних національних геодезичних пунктів по всій країні, які являють собою триангуляційні точки для отримання точних позиційних даних (довгота і широта), контрольних показників (висота) тощо. Вони відіграють важливу роль в національній геодезичній діяльності в якості джерела бази даних. Приклади оформлення геодезичних пунктів в Японії представлено на рисунках 3–6 (фото з відкритих джерел інтернету).



Рис. 3. Вихідний пункт для визначення довготи і широт (2-18-1 Azabudai, Minato-ku, Tokyo)



Рис. 4. Японський вихідний репер нівелювання (1-1 Нагата-чо, Чиода-ку, Токіо)

Відомо, що довгота і широта є засобами для вираження точного положення на земній кулі. Саме в цьому і полягає суть всіх вимірів, проведених у Японії. Так довгота пункту, який показано на рис. 3 складає $139^{\circ} 44' 28.8869''$ (East), а його широта: $35^{\circ} 39' 29.1572''$ (North).

Висоти в Японії визначаються відносно середнього рівня моря Токійської затоки. Значення 0 на кристалічній шкалі, яка вбудована в кам'яний базовий пам'ятник, вказує на 24.3900 м над середнім рівнем моря Токійської затоки (рис. 4).



Рис. 5. Пункт триангуляції



Рис. 6. Варіант закріплення геодезичного пункту

Стандартні геодезичні дані Японії було перенесено зі старої японської геодезичної системи, яка використовувалася протягом багатьох років, у Світову геодезичну систему координат. Сьогодні використовується Японська геодезична система 2000 (JGD2000), яку можна було використовувати з квітня 2002 року. У жовтні 2011 року GSI розробила нову японську геодезичну систему (JGD2011), яку стали використовувати в якості стандартної.

Впровадження нової системи було пов'язано в зв'язку з тим, що велика площа країни отримала деформації земної кори, яка була викликана землетрусом 2011 року біля Тихоокеанського узбережжя у Тохоку, яке відбулося 11 березня 2011 року. Файл параметрів і програмне забезпечення для перетворення координат з JGD2000 в JGD2011 доступні на публічній сторінці геопорталу GSI.

Компанія GSI створила понад 1300 постійно діючих опорних станцій (CORS) по всій країні. Рух суші Японії щоденно контролюється системою GNSS Earth Observation Network System (GEONET). Отримані таким чином дані спостережень використовуються для фактичних вишуквальних робіт з вивчення землетрусів та вулканічної діяльності (рис. 7).

Користувачі геопорталу можуть бачити векторну карту і графік часових рядів деформації земної кори за останні 1 рік, за 1 місяць. А також можуть завантажити файли числових даних. Ці дані оновлюються кожен вівторок. В залежності від середовища ПК, це можна зробити використовуючи пакети Flash або Java (рис. 8).

GSI активно просуває науково-дослідні та дослідно-конструкторські проекти, які сприяють плануванню і здійсненню адміністративних заходів по розробці і використанню геопросторової інформації за наступними ключовими темами:

наукові дослідження та розробки для розвідки і використання запасів;

дослідження і розробки для створення сталого розвитку сприятливого суспільства для наступних поколінь;

наукові дослідження і розробки в галузі попередження та зменшення наслідків стихійних лих;

фундаментальні наукові дослідження планети Земля.



Рис. 7. Безперервно працююча опорна станція (CORS)

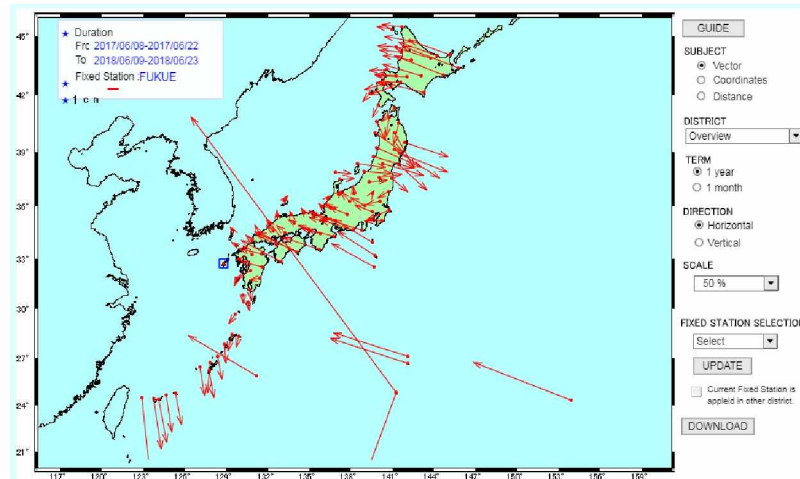


Рис. 8. Картографічне зображення інформації про рух земної кори (режим онлайн)

Національною експертизою та реєстрацією геодезистів і їх помічників, затвердженням копій та використанням результатів обстеження займається Відділ загальних справ, а Офіс зв'язку з громадськістю відповідає за відносини із громадськістю та громадські слухання, реалізовує інформаційне обслуговування, консультації з питань знімання та картографування, інформує про відвідувачів, здійснює керівництво Науковим музеєм карти та знімання.

Плановий відділ проводить роботи з управління технологією знімання та картографування, стандартизації географічної інформації в країні.

Міжнародне співробітництво, міжнародний обмін дослідженнями, загальні питання роботи по проекту Global Mapping покладено на Відділ міжнародних справ. Такий відділ як Загальне управління геопросторовою інформацією та політикою ГІС здійснює планування геопросторовою інформацією. Вся інформація, яка пов'язана із зусиллями з ліквідації наслідків стихійних лих акумулюється в Офісі управління катастрофами.

За всі геодезичні роботи, включаючи GNSS-знімання, VLBI-знімання, нівелювання, гравітаційну зйомку та геомагнітну зйомку, управління контрольними точками відповідає Геодезичний відділ.

Основними видами робіт Відділу геопросторової інформації є: надання довідкової інформації, публікація та видача різноманітних даних зйомок контрольних пунктів, паперових та цифрових карт, аерофотознімків тощо, підтримка веб-сайту GSI.

Створення та оновлення даних для цифрової базової карти Японії, включаючи фундаментальні геопросторові дані, дані про території муніципалітетів та дослідження і розробки для підготовки геопросторової інформації це пріоритет роботи Національного відділу картографування.

Географічний відділ виконує географічні дослідження моніторингу довкілля, озер і боліт, землекористування, стану земель, активних розломів і вулканів.

Основні дослідження, пов'язані з географією та динамікою земної кори, прогнозуванням землетрусів, отриманням даних прибережного руху проводяться Дослідницьким центром Географії та динаміка земної кори.

GSI забезпечує керівництво та координує геодезичні спостереження у відповідності із Законом про моніторинг, щоб забезпечити точність результатів спостереження та уникнути зай-

вих вимірів. Процедура проведення геодезичних вимірів починається з отримання заявки на ім'я Міністра земельних ресурсів, транспорту, інфраструктури і туризму, після консультацій та попереднього розгляду відбувається подання на виконання відповідним фахівцем. Обов'язково виконується погодження знімання пам'яток архітектури, створюється і представляється проект робіт із поданням повідомлення про реалізацію знімання і відбувається затвердження результатів знімання. При цьому неодмінно повідомляється про виконання знімання відповідним зацікавленим організаціям: керівникам виконаних робіт у минулому, управлінням префектури, геодезістам. На всіх етапах виконання робіт здійснюється контроль проведеного знімання.

Архіпелаг Японії часто вражають стихійні лиха, включаючи землетруси, повені, виверження вулканів, які можуть бути катастрофічними. Тому одним із важливих завдань GSI є отримання і накопичення даних для запобігання та зменшення наслідків стихійних лих, а також для розробки контрзаходів проти цих небезпек.

Завдяки цим зусиллям GSI розробляє і виконує вимоги Основного Закону запобігання катастрофам. Дослідження з прогнозування землетрусів і виверження вулканів проводяться у повному обсязі з використанням національної мережі станцій управління ГНСС (рис. 9), аерофотознімків і супутникових зображень і т. п. Ці інструменти ефективно застосовуються для розуміння переміщень земної кори по всій країні і ситуацій на місці, як тільки відбувається лихо, тим самим полегшуючи зусилля щодо пом'якшення наслідків лих та підтримуючи швидке та належне реагування (рис. 10).

Постійно створюються тематичні карти, які є корисним джерелом даних для картування. Карти стану земель, вулканічні карти стану земель та карти активності розломів забезпечують детальну інформацію про стан земної поверхні (рис. 11).



Рис. 9. REGMOS / (Станція дистанційної системи моніторингу GNSS)



Рис. 10. Вулканічна карта стану земної поверхні (Mt. Фуджі)



Рис. 11. Рух земної кори за даними станцій моніторингу GNSS

Заслугує також на увагу Науковий музей карт і зйомок, який став першим виставковим об'єктом, присвяченим картографії та геодезії в Японії (рис. 12). У ньому представлено принципи, історія, нові технології створення карт і виконання зйомок, а також взаємозв'язок між життям, картою та зйомкою, усі вони мають на меті наблизити карти та результати спостережень до потреб людей. Цей музей також пропонує різноманітні інформаційні послуги щодо даних контрольних пунктів, аерофотознімків та серії карт тощо. Загальна кількість відвідувачів з моменту його відкриття в червні 1996 року досягла 700 000 у січні 2014 року [14].



Рис. 12. Науковий музей карт і зйомок [7]

Висновки та напрямок подальших досліджень. З метою забезпечення необхідною інформацією органів державної влади та органів місцевого самоврядування, зацікавлених виробництв, інституцій і організацій, а також громадян для реалізації регулювання земельних відносин, раціонального використання й охорони земель, природних ресурсів, всебічного контролю за економічним й екологічним обґрунтуванням бізнес-планів і проектів землеустрою було створено Управління геопросторової інформації Японії «Geospatial Information Authority of Japan».

В нашій країні теж створено сучасну систему ведення земельного кадастру, підписано Постанову КМ «Про Державну службу України з питань геодезії, картографії та кадастру» [11]. Проте, незважаючи на добрі наміри, діяльність різних структур характеризується іноді невисокою організаційною складовою, що проявляється непорозуміннями під час підготовки та видачі документів. В той же час, прагнення України бути найкращою у всіх відносинах, і, навіть, у питаннях щодо управління земельно-ресурсним потенціалом слід вважати «відкритим» та актуальним. Тому вивчення й обмін досвідом із іншими країнами є одним із шляхів пошуку ефективних варіантів знаходження правильних рішень удосконалення робіт у галузі геодезії, картографії та кадастру.

Список літератури

1. Бавровська Н.М. Особенности функционирования национальной кадастровой системы Украины в 2013 году / Н.М. Бавровська, А.В. Гришина // Наука и экономика. – 2013. – № 1. – С. 107–111.
2. Заяць В.М. Інвентаризація земель як інструмент формування державного земельного кадастру / В.М. Заяць, Н.М. Бавровська, Н.В. Мединська, О.В. Тихенко. – К.: ЦП «Компринт», 2016. – 280 с.
3. Земельний кодекс України [Електронний ресурс] // Верховна Рада України. – 2001. – Режим доступу: <https://goo.gl/jnT3A2>.
4. Карпінський Ю.О. Еталонна модель бази топографічних даних / Ю.О. Карпінський, А. А. Лященко, Р. В. Рунець // Вісник геодезії та картографії. – 2010. – № 2. – С. 28–36.
5. Карпінський Ю.О. Концептуальні засади оцінювання та забезпечення якості геопросторових даних / Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко, М.В. Горковчук // Вісник геодезії та картографії. – 2012. – № 4. – С. 33–42
6. Карпінський Ю.О. Системотехнічні аспекти формування топологічного земельно-кадастрового покриття // Вісник геодезії та картографії / Ю.О. Карпінський. – 2015. – № 5–6. – С. 62–68
7. Карпінський Ю.О. Склад і принципи розроблення національного профілю стандартів з географічної інформації / Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко, Окада Ясуюкі // Інженерна геодезія. – 2016. – Вип. 63. – С. 110–121.
8. Карпінський Ю.О. Уніфікація структури, правил кодування та цифрового опису векторних моделей у базах топографічних даних / Ю.О. Карпінський, А. А. Лященко, Р. В. Рунець // Вісник геодезії та картографії. – 2010. – № 5. – С. 35–41
9. Лященко А. А. Принципи цифрового подання та організації зберігання містобудівної документації в геоінформаційній системі містобудівного кадастру / А. А. Лященко, Д. В. Горковчук, Ю. С. Максимова, М.М. Шматько // Вісник геодезії та картографії. – 2015. – № 4. – С. 31–37.
10. Мартин А.Г. Формування кадастрово-реєстраційної системи в Україні: моногр. / А.Г. Мартин, О.В. Тихенко. – К.: Медінформ, 2015. – 580 с.
11. Постанова КМ «Про Державну службу України з питань геодезії, картографії та кадастру» [Електронний ресурс] / Кабінет Міністрів України. – 2015. – Режим доступу: <https://goo.gl/r6XdTk>.
12. Тихенко О.В. Стан та проблеми земельного кадастру в Україні / О.В. Тихенко // Землеустрій, кадастр та охорона земель в Україні: сучасний стан, Європейські перспективи: Матер. міжнар. конф., присвяченої 20-річчю створення факультету землевпорядкування. – К.: МПБП «Гордон», 2016. – 236 с.
13. Тревого І. Стан і перспективи використання кадастрової карти України / І. Тревого, Ю. Карпінський // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2013. – Вип. 2. – С. 137.
14. Управління геопросторової інформації Японії «Geospatial Information Authority of Japan» [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://www.gsi.go.jp/>.
15. Юрченко І.В. Управління земельними ресурсами в контексті реалізації земельно-кадастрової політики Європейського Союзу / І.В. Юрченко // Економіка агропромислового комплексу. – К., 2017. – № 9. – С. 63–66

УДК 662.61

А.М. ЯЛОВА, канд. техн. наук, доц., Н.В. БОНДАР, ст. викл.
Криворізький національний університет

ВПЛИВ ШЛАКУВАННЯ ТА ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ НАГРІВУ НА НАДІЙНІСТЬ РОБОТИ ТВЕРДОПАЛИВНИХ КОТЛІВ НА ТЕС

Мета роботи. Метою даної роботи є розробка проектних, прогнозних та управлінських рішень для забезпечення теплової ефективності та експлуатаційної надійності напіврадіаційних та конвективних поверхонь нагрівання. Аналіз працездатності твердопаливних теплових електричних станцій яка значною мірою залежить від надійності котельного обладнання.

Методи дослідження. у роботі використовувався загальнонаукові методи дослідження, метод теоретичного аналізу в процесі дослідження науково-практичних розробок та підходів, аналіз джерел з досліджуваної теми, формалізація побудованих моделей, використання методів теорії надійності, теорії множин, математичної логіки. Використано стандартизовані методи проведення теплових випробувань.

Наукова новизна. Наукову цінність являє аналіз теплової нерівномірності, перегрівів та прискореному вичерпанні запасу тривалої міцності металу. Вперше проведено узагальнюючий аналіз статистичної інформації, та оцінено динаміку змін утворення відкладені у котлах.

Практична значимість. Питання забруднення та шлакування поверхонь нагріву пилувугільних котлів по сьогодні зберігають свою актуальність, незважаючи на великий внесок у дослідження парогенераторів та вугілля. Традиційні проблеми характеризуються великими економічними збитками, пов'язаними з утворенням шлакових відкладень через недосконалість конструкцій котлів, методів їх розрахунку та контролю. На основі результатів проведених теплових досліджень котлів в експлуатаційному діапазоні навантажень складено проект нормативної характеристики шлакування та забруднення поверхонь нагріву. У процесі експлуатації було виявлено низку недоліків у роботі обладнання, пов'язаних з конструкцією котла, зі специфікою мінеральної частини палива.

Результати. Створено систему технічної діагностики для визначення інтенсивності шлакування та забруднення поверхонь нагріву в режимі реального часу в частині оцінки коефіцієнтів теплопередачі чистої та забрудненої поверхні теплообміну, що враховують конструктивні та режимні особливості як окремої поверхні, так і котла в цілому, що забезпечують адекватну оцінку показників теплової ефективності напіврадіаційних та конвективних поверхонь нагріву пилувугільного парового котла.

Ключові слова: котельний агрегат, шлакування поверхні нагріву, коефіцієнт теплової ефективності, теплопередача, коефіцієнт забруднення, система технічної діагностики, очищення.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-151-157

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Відповідно до Указу Президента України № 37/2017 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16 лютого 2017 року «Про невідкладні заходи з нейтралізації загроз енергетичній безпеці України та посилення захисту критичної інфраструктури», на виконання графіку ремонту основного обладнання теплових електростанцій (Додаток №2 до наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 25.09.2021 р. «Про підготовку обладнання електростанцій і теплових мереж до надійної та ефективної роботи у 2022 р. та осінньо-зимовий період 2021/2022 року») За даними НАК «Укренерго» на січень 2022р. 15 вугільних ТЕС працюють на території України. Статистичний аналіз видів та причин відмов парових котлів при спалювання твердих органічних палив показує, що однією з основних причин аварійних зупинок котельних агрегатів є низька надійність роботи напіврадіаційних та конвективних поверхонь нагріву, внаслідок їх інтенсивного шлакування та забруднення. Насамперед це викликано особливостями компонування та жорсткими температурними умовами роботи поверхонь нагріву. Виходячи з ситуації, що склалася на ринку енергетичного палива України починаючи з 2014 році, коли частина шахт на Донбасі, що добувають вугілля газової групи, і всі шахти, що добувають вугілля антрацитної групи, виявилися на тимчасово неконтрольованій території, одним з головних антикризових заходів стало переведення енергоблоків теплових електростанцій, які використовують вугілля антрацитної групи (А і П), на спалювання неprojektних видів палива газової групи (Г і ДГ). У зв'язку з цим істотно зростає роль науково-обґрунтованого підходу при виконанні проектних розрахунків, налагодженні та технічної діагностики експлуатаційних режимів поверхонь нагрівання парогенераторів.

Аналіз досліджень і публікацій. Що ж стосується аналізу досліджень та публікацій з питання впливу шлакування та забруднення поверхонь нагріву на надійність роботи твердопалив-

них котлів слід відмітити наступні роботи Майстренко О.Ю. Сучасні розробки Інституту вугільних енерготехнологій НАН України для теплової енергетики. [1]. Гапонич Л.С. Коротка характеристика сучасного стану роботи ТЕС України [2]. Також роботи Капустянського А.О., Кукоти Ю.П., Лис С.С, Мисак С.Й. та ін.

Постановка задачі. Елементи поверхонь нагріву є головними в котельному агрегаті та їх справність, насамперед, визначає економічність та надійність котельної установки. Працездатність теплових електричних станцій значною мірою залежить від надійності котельного обладнання. Більшість відмов відбувається через пошкодження труб поверхонь нагрівання. Основна причина пошкоджень полягає в тепловій нерівномірності, перегрівих та прискореному вичерпанні запасу тривалої міцності металу. Теплова нерівномірність є наслідком нерівномірності тепло сприйняття. Нерівномірність тепло сприйняття пов'язана з неоднорідними розподілами температури та швидкості продуктів згоряння та циркулюючого теплоносія. Локальне або загальне збільшення тепловіддачі від продуктів згоряння та зниження тепловіддачі до теплоносія викликають режими погіршення теплообміну та перегріву металу вище за розрахункову або гранично допустиму температури. Утворення відкладень у котлах завдає економічної шкоди, знижує безпеку експлуатації та погіршує умови праці. Економічні збитки можуть бути пов'язані: з обмеженням потужності та зменшенням вироблення електроенергії та тепла; з зупинкою котла на проведення розшлаковування та очищення; з зростанням температури газів, що йдуть, і зниженням економічності; з витратами на проведення стоянкової розшлаковки та апаратами очищення у процесі роботи; з пошкодженням поверхонь нагрівання під час роботи апаратів очищення та шлаковими утвореннями, що падає; з обмеженням кола допустимого вугілля, і, як наслідок, більш високими витратами палива. У процесі пилувугільного спалювання в топці можуть утворюватися відкладення, що відрізняються за структурою, площею поширення та розмірам.

У зв'язку із цим, завданням досліджень є розробка проектних, прогнозних та управлінських рішень для забезпечення теплової ефективності та експлуатаційної надійності напіввирадіаційних та конвективних поверхонь нагрівання пилувугільного котла.

Виклад матеріалу та результати. У 2019 році Україна видобула 31,21 млн тонн вугілля. На Донеччині в 2019 році видобули 11 256 781 тонну вугілля. У Луганській області 2019 року видобули 328 775 тонн. вугілля. У Дніпропетровській області у 2019 році видобуло 18 196 651 тонну вугілля. На Львівщині видобули 1 359 588 тонн вугілля. На «Волиньвугілля» у 2019 році видобули 69 758 тонн. вугілля. Основними технічними характеристиками твердого палива є: зольність, волога, сірка, вуглець, водень, азот, вихід летючих на сухий без зольний стан, нижча теплота згоряння. З 14 ТЕС України сім використовують для спалювання вугілля газової групи марок Д, ДГ, Г, а інші сім – для спалювання вугілля марок А і П. Серед традиційних причин аварійної роботи котлів за умов шлакування та забруднення є нестабільний паливний баланс електростанцій, освоєння нового вугілля та технологій їх переробки, відсутність або неповнота відомостей для ряду палив, що використовуються. З 2014 р припинились закупівлі донецьких антрацитів та пісного вугілля з шахт, тимчасово окупованих територій. Проблему, що намагались вирішити за рахунок імпорту вугілля. Технічні характеристики вугілля з ПАР $Q_{ir} = 4850$ ккал/кг, $A_d = 30-32\%$, $V_{daf} = 17-18\%$; е пісне вугілля, що спалювалось попередньо $Q_{ir} = 6000-6150$ ккал/кг, $A_d = 16-18\%$, $V_{daf} = 15-16\%$. Згідно з «Правилами технічної експлуатації електричних станцій і мереж», котли ТЕС можуть бути переведені на спалювання непроєктних палив, палив погіршеної якості або сумішей палив за умови аналізу, дослідження та реалізації режимних або конструкторських заходів, що забезпечують безпечну експлуатацію пиле систем, умови стійкого горіння і шлаковидалення, а також повноту вигорання палива [3-5]. Під час спалювання в котлі вугілля, відмінних від проектних, змінюється механізм роботи всього паливне-пальникового комплексу. Тому необхідно виконати аналіз ймовірних причин пошкодження котельних агрегатів у процесі експлуатації на новому паливі.

Основною вимогою до енергетичних установок, є забезпечення надійної та економічної роботи стаціонарного обладнання. Проте експлуатація енергетичного обладнання супроводжується численними аварійними ситуаціями, що призводить до незапланованих (аварійних) зупинок. Як показує досвід експлуатації та ремонту енергообладнання близько 30-40% відмов енергоблоків припадає на частку котлів та котельно-допоміжного обладнання. У свою чергу, головною причиною відмов котлів є пошкодження поверхонь нагрівання (рис.1), через які відбува-

ється приблизно 50% позапланових зупинок. Питома кількість відмов на котел становить 4-4,5 рази на рік.

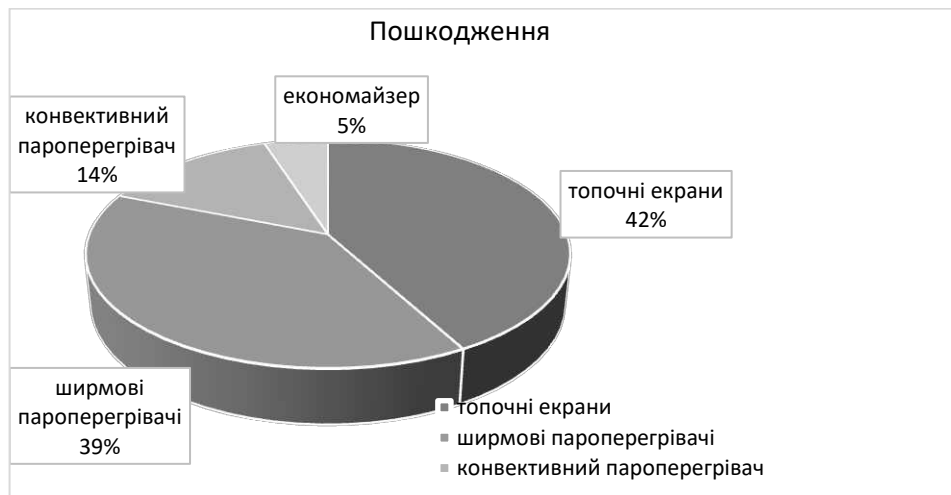
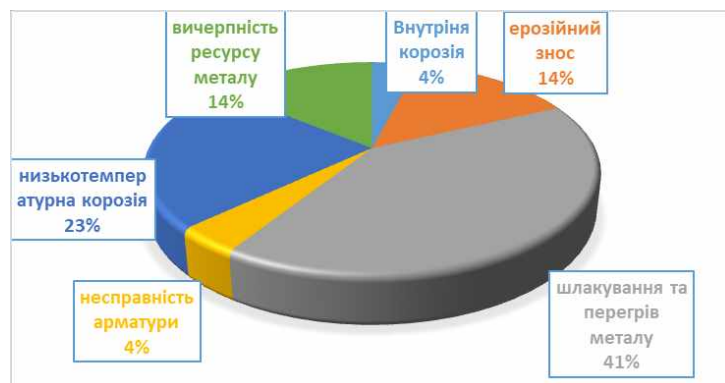


Рис.1. Статистика пошкоджень поверхонь нагріву пилувугільного котла

Однією з головних причин відмови котлів, що спалюють тверде паливо, є інтенсивне шлакування та забруднення поверхонь нагріву (39%), або викликаний шлакуванням перегрів металу труб (рис 2).

Рис.2. Статистика причин пошкоджень поверхонь нагріву

Причиною великої кількості пошкоджень поверхонь нагрівання з причини шлакування є відсутність інформації в експлуатаційного персоналу про ступень шлакування або забруднення кожної з поверхонь нагріву у поточний момент. В даний час експлуатаційний персонал судить про інтенсивності шлакування та забруднення поверхонь нагріву тільки по непрямим показникам, аналізуючи показання штатного контролю. З діаграми робимо висновок, що найбільш пошкодженими елементами пилувугільних котлів, є напіврадіаційні та конвективні поверхні нагрівання.



Незважаючи на багатий досвід досліджень процесу шлакування через ряд причин, досі відсутня ефективна методика оцінки забруднення, що дозволяє виконувати оперативні обчислення для працюючого обладнання та прийняття відповідних рішень, спрямованих на зменшення негативних наслідків. Інтенсивне забруднення поверхонь нагрівання впливає на зниження коефіцієнта корисної дії котельного агрегату та його встановленої потужності, зменшення терміну міжремонтного періоду та збільшення витрат на розшлаковування поверхонь нагрівання. В даний час визначення шляху вирішення зазначеної проблеми можливе лише з урахуванням всіх взаємозв'язків факторів, що визначають процес утворення та зростання відкладень золи на основі їх системного аналізу за положеннями різних теорій та гіпотез.

Інтенсивність забруднення підпорядковується експоненційному закону відповідно до рівняння

$$m = m_0 \cdot e^{-kr}$$

де m_0 - потік забруднень, що падає на чисту поверхню нагріву в момент часу $\tau = 0$; k - коефіцієнт пропорційності, що залежить від величини теплового радіаційного потоку q_p , що проходить через шар відкладень. Встановлена залежність сформульована на основі системи рівнянь, що описують молекулярне перенесення для процесів теплопровідності, в'язкості та дифузії в газах та рідинах (рівняння Фур'є, Ньютона, Фіка в одновимірній постановці). Універсальною характеристикою утворення відкладень, на думку авторів, є температура стінки, при досягненні

якої виникають щільні забруднення золою та шлаком на передній частині поверхні труби, що визначається за емпіричною формулою

$$t_{\text{від}} = 554 - 5,8w_z + 1,7d_n, \quad (1)$$

де w_z - швидкість газів; d_n - зовнішній діаметр труби.

Зазначається, що формула цілком працездатна для температури газів $t_z = 600-1200$ °С; $w_z = 5-20$ м/сек; $d_n = 32-57$ мм.

При цьому підвищення температури газів на 100 °С призводить до зростання приблизно 30 °С. З наведеного рівняння видно, що зі зростанням швидкості газу та зменшенням діаметра труб створюються більш сприятливі умови для осідання дрібних фракцій золи, які значно активніше щодо процесів зв'язування.

Процес утворення відкладень можна розділити на три шари та три стадії: перенесення маси через прикордонний шар, зчеплення частинок з поверхнею нагрівання та збільшення товщини шару. Первинний шар утворюється за рахунок лужно-силікатних сполук, частинки яких за умовами гравітаційно-термофорезно-аеродинамічної сепарації першими десублімуються на чистій поверхні нагрівання. Формування проміжного шару багато в чому визначається селективним відкладенням легкоплавких евтектик. Зовнішній, вторинний шар відкладень починає утворюватися після досягнення внутрішнім шаром розмірів, достатніх для термоізоляції труби. Забезпечення на зовнішній поверхні проміжного шару такої температури, при якій осідають частинки летучої золи можуть залишатися у липкому стані, і є визначальним фактором для ініціалізації подальшого зростання вторинних відкладень. Інтенсивність шлакування обернено пропорційна величині різниці температур поверхні золової частинки та температури поверхні металу трубного пучка. Розвиток питання визначення умов утворення вторинних (гребнеподібних) відкладень у цій роботі досягнуто шляхом обґрунтування рівняння критичної умовної температури на зовнішній поверхні забруднень, за якої починається їх зростання

$$t_{\text{кв}} = t_z - \frac{1}{\alpha_1} \left(\frac{Q}{H} \right), \quad (2)$$

де t_z - температура газів; Q/H - питоме тепло сприйняття поверхонь нагріву; α_1 - тепловіддачі від газів до зовнішньої поверхні.

Також слід відзначити більш сучасний підхід у трактуванні проблеми шлакування [9]. Результати досліджень узагальнені у вигляді математичної моделі, що враховує динаміку руху та фізико-хімічні властивості зольної частки. Визначено форму аналітичного опису сил адгезії, деформації та відображення рідких або розм'якшених шлакових частинок при ударі об поверхню труби. Критеріальне рівняння, що характеризує процес утворення зола шлакових відкладень у загальному вигляді записується в формі наступного функціоналу

$$K_{\text{шл}} = f \left(\frac{\rho_{\text{жс}} w^2}{E_{\text{жс}}} \right); \left(\frac{\sigma_{\text{жс}} (1 + \cos \theta)}{\rho_{\text{жс}} w^2 \delta_{\text{жс}}} \right); \frac{\eta}{\rho_{\text{жс}} w^2 \delta_{\text{жс}}}; \frac{E_m}{\rho_m w^2 \delta^2}; \frac{\beta^1}{\beta^{11}}, \quad (3)$$

де $\frac{\rho_{\text{жс}} w^2}{E_{\text{жс}}}$ - відношення сил інерції до пружних сил (критерій Коші); $\frac{\sigma_{\text{жс}} (1 + \cos \theta)}{\rho_{\text{жс}} w^2 \delta_{\text{жс}}}$ - відношення питомої енергії сил адгезії частинок золи до їх кінетичної енергії; $\frac{\eta}{\rho_{\text{жс}} w^2 \delta_{\text{жс}}}$ - критерій Вебера; $\frac{E_m}{\rho_m w^2 \delta^2}$ - коефіцієнт зміни швидкості частки, що відскочила; $\frac{\beta^1}{\beta^{11}}$ - коефіцієнт ефективності зіткнення (коефіцієнт реалізації).

Для прогнозування шлакуючих та забруднюючих властивостей вугілля пропонуємо спосіб їх ранжування за рядом різних ознак, емпіричних показників та індексів. Зокрема схильність до утворення залістистих відкладень визначається потенціалом $P_n = 3,96 - 2,47/\text{Fe}_2\text{O}_3$ що характеризує частку піритного заліза в перерахунку на Fe_2O_3 від загального вмісту заліза для важкої фракції вугільного пилу. Індекс прогнозування сульфатно-кальцієвих відкладень визначається

$$P_{\text{ca}} = \frac{\text{CaO} \sqrt{K_2\text{O}}}{\text{Na}_2\text{O}}. \quad (4)$$

Вугілля, схильне до утворення таких відкладень, має $P_{ca} \geq 10$.

Отже з метою зменшення шлакування трубних поверхонь температурний режим в зоні активного горіння необхідно забезпечувати стійке вигорання вугілля на знижених навантаженнях за умови досягнення нормативного значення теплових напруг топочного перерізу та обсягу шляхом оптимального поєднання конструктивних характеристик топкової камери, типу, кількості та розташування пальникових пристроїв, режимних факторів та технічних характеристик палива.

Наслідки, що впливають на роботу парогенераторів через шлакування і забруднення, залежать не тільки від процесів, що розглядаються, але і від типу поверхні нагріву. Наприклад, інтенсивне шлакування топкових екранів призводить до падіння брил шлаку в холодну вирву з завалом та руйнуванням шлакових комодів, порушення аеродинаміки пальникових струменів та вигорання вугільного пилу через затулювання пальникових пристроїв шлаком, підвищення температури газів на виході з топки у зв'язку зі зниженням теплової ефективності екранів, що призводить до посилення шлакування ширмового пароперегрівача. У свою чергу, шлакування та забруднення ширмових і конвективних поверхонь нагріву характеризується такими негативними наслідками, як підвищення температури газів, що йдуть, підвищення рівня температури в пароперегрівачах, що призводить до перевищення допустимої температури металу змійовиків (рис. 3).



Рис.3. Вплив шлакування та забруднення на надійність роботи

При інтенсивному зростанні рівня забруднення конвективних поверхонь нагріву настає обмеження продуктивності котельного агрегату, пов'язане зі зростаючим аеродинамічним опором конвективних пакетів у зв'язку з перекриттям міжтрубного простору відкладеннями (рис.4). Зазначені фактори призведуть до перевитрати палива та зниженню ККД котлів, до зниження безшлакувальної потужності, до збільшення викидів золи та оксидів азоту, до зниження надійності та ресурсу наявного обладнання, а також підвищення витрат на ремонт та ручне розшлакування котлів.



Рис.4. Утворений шлак в топці котла

Від інтенсивності утворення на трубах зовнішніх відкладень та рівня їх стабілізації залежать такі показники роботи котлів, як коефіцієнт корисної дії (ККД) та безшлакувальна потужність. В США та Європі поширений поділ на окремо утворення зовнішніх відкладень та на шлакування і забруднення. Під шлакуванням зазвичай розуміється процес утворення відкладень у топці, а під забрудненням - у конвективних поверхнях нагріву (пароперегрівач, економайзер, повітропідігрівач).

В даний час експертна оцінка зміни якості

палива не дає змоги визначити зміну тепло сприйняття різних поверхонь нагріву парових котлів. У зв'язку з цим виникає необхідність у створенні залежності, за допомогою якої визначалася б величина зміни тепло сприйняття поверхонь нагріву через зміну якості палива. Крім того, досвід експлуатації показує, що значення коефіцієнтів теплової ефективності та забруднення, отримані на діючих котельних агрегатах, значно відрізняються від рекомендованих нормативних значень, ризиків (підтвердження гарантійних показників) та обмеження номінальної паропроductивності котла внаслідок перевищення температур металу труб поверхонь нагріву допустимих значень. У зв'язку з цим для підвищення надійності експлуатації парових котлів необхідно виявити та обґрунтувати фактори, що впливають на показники теплової ефективності при спалюванні різних палив залежно від типу та конструктивних характеристик поверхонь нагрівання котельних агрегатів.

Отже основним завданням є створення методики визначення коефіцієнтів забруднення (теплової ефективності поверхонь нагрівання) в режимі реального часу. В основу даного алгоритму покладено рівняння теплового балансу між середовищем що гріє та нагрівається, при відомих температурах робочого середовища

$$Q_{\text{факт}} = \phi(H^I - H^{II}) - Q_{\text{дон}} \frac{D_{\text{не}}}{B_p} (h^I - h^{II}) - Q_l, \quad (5)$$

де H^I, H^{II} – ентальпії газів до та після поверхні нагрівання, кДж/кг; $D_{\text{не}}$ – витрата робочого середовища, кг / с; h^I, h^{II} – ентальпії робочого середовища до та після поверхні нагрівання, кДж/кг; $Q_{\text{дон}}$ – теплосприйняття додаткових (прилеглих) поверхонь; Q_l – теплосприйняття поверхні нагрівання випромінюванням; ϕ – коефіцієнт збереження тепла.

Як характеризуюча величина обраний коефіцієнт теплової ефективності ψ – як найбільш інформативний. Оцінка коефіцієнта теплової ефективності довільної поверхні нагрівання здійснюється за співвідношенням

$$\psi = K_{\text{факт}} / K,$$

де $K_{\text{факт}}$ – фактичний коефіцієнт теплопередачі реальної поверхні нагрівання кВт/(м² °С); K – коефіцієнт теплопередачі для чистої поверхні (без урахування коефіцієнта забруднення), кВт/(м² °С).

Фактичний коефіцієнт теплопередачі у свою чергу для довільно взятої поверхні нагрівання визначається за рівнянням

$$K_{\text{факт}} = \frac{Q_{\text{факт}} B_p}{F \Delta t}, \quad (6)$$

де F – площа поверхні теплообміну, м²; Δt – середньологарифмічний температурний тиск, °С; $Q_{\text{факт}}$ – фактичне теплосприйняття поверхні нагріву, кДж/кг; B_p – розрахункова витрата палива, кг/с.

Визначення значень температурного напору (Δt , °С) та фактичного теплосприйняття поверхні нагріву ($Q_{\text{факт}}$, кДж/кг) здійснюється шляхом вирішення системи нелінійних балансових рівнянь при відомих температурах теплоносіїв, які приймають участь у теплообміні, як на вході, так і на виході з кожної аналізованої поверхні, що вимірюються системою штатного контролю котла.

Висновки і напрямки подальших досліджень. Своєчасне застосування засобів очищення напіврадіаційних та конвективних поверхонь нагрівання від зовнішніх відкладень у режимі реального часу при різних режимах роботи котла, що базуються на аналізі даних оперативного контролю показників теплової ефективності до та після використання обдувних апаратів дозволяє підвищити надійність та економічність експлуатації котла, а також ефективність застосовуваних засобів очищення.

Список літератури

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року – К.: Міністерство палива та енергетики, Національна академія наук України, 2017.
2. ЗВІТ З ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ Реконструкція комплексу споруд ТОВ «Придніпровський ОЕЗ» з добудовою котельного відділення з встановленням 3х твердопаливних котлів номінальною термічною потужністю 28 МВт кожний та паросилової дільниці з когенераційною установкою електричною потужністю до 26 МВт // м. Кропивницький 2019.

3. **Ольховский Г.Г.** Оценка стоимости строительства и эксплуатации угольных ТЭС (на примере США). М. ОАО «ВТИ». 2008. – 44 с.
4. **Чернявський М.В., О.Ф. Буляндра** Результати та перспективи модернізації існуючих пилувугільних енергоблоків ТЕС України // Зб. тез доповідей «Вугільна теплоенергетика: проблеми реабілітації та розвитку». – 2014. – С. 46-50.
5. **Чернявський М.В.** Сучасні проблеми паливозабезпечення та паливоспоживання ТЕС України. Енерготехнології та ресурсосбереження. – 2015. - №3. – С. 5-19.
6. **Чернявський Н.В.** Топливообеспечение и топливопотребление ТЭС Украины: история, современное состояние, проблемы внедрения рынка 115 энергетического угля. Новини енергетики. – 2015. – № 4. – С. 26-29
7. **Васильев В.В., Гребеньков П.Ю.** Тепловая эффективность конвективных поверхностей нагрева котлов при сжигании канско-ачинских углей // Сб. докл. международной научно-технической конференции: Эксплуатация и модернизация энергоблоков мощностью 800 МВт. Шарыпово, 2002.– С.72-82.
8. **Гапонич Л.С., Дунаєвська Л.С., Гапонич Л.С., Яцкевич С.В.** Коротка характеристика сучасного стану роботи ТЕС України. Зб. тез доповідей «Вугільна теплоенергетика: проблеми реабілітації та розвитку». – 2014. – С. 79-82.
9. **Капустянський А.О., Варламов Г.Б.** Аналіз діяльності паливно-енергетичного комплексу України. Науковий журнал Вісник ТНТУ України – 2016 – № 3(83) – С. 144–153

УДК 316.6

А.М. ТУРИЛО, д-р екон. наук, проф.
Криворізький національний університет

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ І ЛЮДСЬКИЙ КАПІТАЛ В УМОВАХ ІНФОРМАЦІЙНО-ІННОВАЦІЙНОЇ ЕКОНОМІКИ – КЛЮЧОВИЙ ЧИННИК АДАПТАЦІЇ І ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВА

Мета. Метою даної роботи є дослідження інтелектуального і людського капіталу в умовах формування й функціонування інформаційно-інноваційної економіки та їх ролі й впливу на процеси адаптації і забезпечення економічної безпеки підприємства.

Методи дослідження. В процесі дослідження для змістовного розкриття сутності проблеми було використано методи наукової абстракції, структурно-декомпозиційної, аналізу та синтезу, логічного узагальнення, причинно-наслідкового зв'язку, логіко-прогностичний, змістовно-порівняльний.

Наукова новизна. Визначено зміст категорії «інтелект». Обґрунтовано необхідність і актуальність використання в науково-дослідницькій, навчально-методичній і методико-прикладній сферах категорій «добрий інтелект» і «добросесний інтелектуальний капітал». Представлено структурні елементи духовно-морального капіталу і розкрито його значимість стосовно впливу на всі інші складові людського капіталу. Розмежовано за змістовним за змістовним аспектом добросесний і егоїстичний інтелектуальний капітал. Удосконалено структуру людського капіталу відносно підприємства, як об'єкта дослідження в аспекті «людський капітал» підприємства «живий» і людський капітал підприємства «неживий». Визначено сфери, напрями і особливості розгляду і оцінки категорії «людський капітал». Запропоновано структурно-логічну формулу щодо можливого оцінювання рівня і величини людського капіталу.

Практична значимість. Представлений матеріал конкретизує зміст, підвищує науковий рівень і можливість обґрунтованого використання відзначених даних роботи термінів і категорій в різних сферах життєдіяльності людини, зокрема в економічній.

В роботі розмежовано за змістом такі поняття і категорії, як знання, розум, інтелект, інтелектуальний капітал. Акцентовано увагу і відображено роль інтелекту та інтелектуального капіталу у формуванні і формуванні і розвитку високоякісного суспільства, що базується на принципах моралі, духовності, демократизма, справедливості, прогресу тощо. Показано, що на рівні підприємства якість людського капіталу робітника – це ключовий чинник його економічної безпеки, адаптації та соціальної і економічної ефективності.

Запропоновано методико-прикладний підхід до оцінювання людського капіталу.

Результати. Визначено сутність і складові елементи таких категорій як «інтелектуальний капітал», «духовно-моральний капітал», «людський капітал підприємства», «людський капітал робітника». Надано логіко-методичні підходи до оцінювання рівня і величини людського капіталу.

Ключові слова: інтелектуальний капітал, духовно-моральний капітал, людський капітал, людський капітал підприємства, людський капітал робітника, економічна безпека підприємства.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-157-163

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. У світовому суспільстві, в економіках країн відбуваються квантові зміни.

Квантові зміни – це зміни, які за їх швидкістю, масштабами і силою впливу є кардинальними для розвитку суспільства.

Квантові зміни проявляються в процесах глобалізації, трансформації різних сфер світового людського життя.

Головна проблема таких змін – це вміння аналізувати, передбачати та управляти ними, і на цих засадах забезпечувати високоякісний, позитивний вектор суспільного і економічного розвитку.

Формування нової парадигми цивілізаційного розвитку повинно відбуватися у відповідності до головного критерію такого розвитку: людина – найвища цінність суспільства.

Такий критерій визначає всі інші критерії у всіх сферах людської діяльності і життя.

Від нього будуються і утворюються умови, чинники і напрями розвитку людства.

Але головне в цьому те, що саме зрілість суспільства, рівень цивілізованості та якість сукупності світових соціально-економічних глобальних рішень і змін визначають в цілому відповідність реального стану суспільства головному критерію його розвитку, де людина – це найвища цінність суспільства.

В світі формується і розвивається постіндустріальне суспільство, відбувається становлення інноваційної економіки (економіки знань, інтелектуально-інформаційної економіки, цифрової економіки, нової економіки тощо).

В суспільстві і економіці такого типу виключну роль і рушійну силу відіграють такі індикатори як цінність людини, якість і щастя життя людини, духовність, справедливість і ефективність.

Саме на ці категорії суспільного і економічного розвитку представимо авторське бачення стосовно конкретизації їх сутності і можливостей з цих позицій більш ефективного управління соціальними і економічними процесами на різних рівнях господарювання.

В цьому аспекті без розгляду таких категорій як знання, розум, інтелект, інтелектуальний капітал, людський капітал тощо, відносно економічного і суспільного розвитку, не обійтись.

Дані категорії є символами нової епохи розвитку людства і економіки.

Рівень їх використання в науковій, навчальній, суспільній, соціальній і економічній сферах «зашкалює», а їх значимість з позиції факторів розвитку і сили впливу на економіку суб'єктів господарювання стає вирішальною.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблеми і питання комплексного або фрагментального дослідження категорій «людський капітал» і «інтелектуальний капітал» висвітлюються в економічній літературі доволі постійно за останній час. Більш ємно і змістовно вони розкриті в роботах [1-10 та ін.].

Разом з тим, на наш погляд, окремі аспекти даної науково-практичної проблеми потребують свого подальшого дослідження з позиції уточнення і удосконалення важливих категорій і термінів у даній сфері.

Постановка задачі. Уточнити і удосконалити зміст категорій інтелектуальний і людський капітал і оцінити їх вплив на процеси адаптації і економічної безпеки підприємства.

Викладення матеріалу та результати. Використання в значній сукупності різних літературних джерел категорій інтелект, розум, знання, людський капітал, розумові здібності, інтелектуальний капітал не завжди, на наш погляд, відбувається з певним їх змістовним поясненням. В інших випадках вони використовуються в рівній мірі як дублюючі чи тотожні категорії, або порушується їх змістова ієрархія. Все це ускладнює загальний процес порозуміння між певними суб'єктами і можливості ґрунтовної оцінки та ефективного розвитку будь-якого суб'єкта господарювання. Тому представимо на базі проаналізованої існуючої інформації авторське, певним чином удосконалене, тлумачення цих категорій та їх сутнісного співвідношення між собою.

Почнемо з розкриття категорії «знання». Стосовно знання грецький філософ Сократ стверджував, що «знання – це не розум». Таке твердження великого філософа дозволяє нам визначити категорії «знання» і «розум» таким чином.

Знання – це категорія, що відображає володіння людиною на визначений момент часу певною сукупністю інформації різного виду.

Розум – це категорія, що характеризує здатність людини мислити, спираючись на знання.

Категорія «розумний» є похідною від категорії «розум» і характеризує порівняльний аспект відносно рівня (якості) мислення і рівня знань.

Допомогою у визначені наступної, такої складної категорії як інтелект є вирази і думки великих науковців і філософів.

Так, А.Ейнштейн визначав, що «уява – важливіше знання». Значить можна зробити висновок, що уява виступає важливою складовою інтелекту і має місце саме в процесі мислення.

Сократ, Платон, Р.Декарт, Вернадський, Достоевський та інші також відмічали таку важливу якість людини, як застосування розуму.

Таким чином, виходячи з того, що, по-перше, знання це не розум; по-друге, уява важливіша за знання; по-третє, розум в часі – це процес його застосування можна надати наше бачення трактування категорії «інтелект».

Інтелект – це категорія, що характеризує і включає в себе сукупність системних, ґрунтовних та актуальних знань, процес мислення, уяви і здатність людини до їх розвитку та цільового використання.

Далі важливо категорію «інтелект» розглянути з позиції рівня і напряму практичного його впливу.

І в цьому сенсі фундаментальними аргументами теж будуть думки і переконання визнаних авторитетів світового суспільства.

Нижче наведено їх думки і життєва позиція стосовно глибинного змісту, умов і наслідків використання інтелекту: Джон Локк (видатний англійський філософ, мислитель, педагог): «Правильно мислити більш цінно, ніж багато знати»; Рене Декарт (видатний французький філософ, математик, фізик, фізіолог): «Мало мати хороший розум, головне – добре його застосувати»; Альберт Ейнштейн (видатний діяч-гуманіст, вчений, творець сучасної теоретичної фізики): «Не варто обожнювати інтелект. У нього є могутні м'язи, але немає обличчя»; Теодор Рузвельт (видатний американський політик, 26-й президент США, лауреат Нобелівської премії миру): «Виховати людину інтелектуально, не виховавши її морально, – означає виростити загрозу для суспільства»; Уоррен Баффетт (видатний американський фінансист, підприємець): «Шукайте в людині три риси: інтелект, енергію і чесність. Якщо у неї немає останньої, навіть не турбуйтеся про дві інші»; Федір Достоевський (видатний письменник і мислитель): «Людина вона розумна, але щоб розумно поступати – одного розуму мало»; Грасіан Бальтасар (видатний іспанський філософ, теоретик літератури, прозаїк): «Презирства гідний високий розум, застосований для низьких цілей»; Пауло Коельо (видатний бразильський мислитель, прозаїк, поет): «Справжня релігія – це добре серце»; Франсуа Вольтер (видатний французький філософ-просвітитель, письменник, публіцист): «Релігія полягає в доброті...»; Далай-лама (духовний лідер тибетського буддизму): «Будь добрим, коли це можливо. А це можливо завжди»; Людвіг ван Бетховен (видатний німецький композитор): «Я не знаю інших ознак переваги, крім доброти»; Генріх Гейне (видатний німецький поет, публіцист і критик): «Доброта краще краси»; Бальтасар Грасіан (відомий іспанський філософ, теоретик, прозаїк): «презирства гідний високий розум, застосований для низьких цілей!».

Цитат, думок і переконань великих просвітницьких людей, що внесли в розвиток людства свій добрий і значний внесок, ніколи не буде забагато для становлення і розуміння сенсу життя і вибору життєвого шляху, тому що «у кожній душі живе потяг до щастя і смислу» (Фома Аквінський – видатний італійський філософ і теолог).

Така кількість переконань великих людей із різних країн, сфер життєдіяльності та історичного часу проживання наведена нами свідомо з метою, щоб показати в акцентованому виді всеоб'єднуючу, сфокусовану, прогресивну світову думку стосовно того, яким повинен бути інтелект і на яких засадах повинно розвиватися суспільство, щоб воно було соціально і економічно ефективним, а людина в ньому була вищою цінністю та щасливою.

Глибинний і переконливий смисл розглянутих вище і багатьох інших цитат, афоризмів і думок дозволяє нам визначити і конкретизувати для теоретичного і практичного користування у всіх сферах діяльності суспільства такі категорії як «добрий інтелект» і «добродесний інтелектуальний капітал».

В цілому дослідження в даній роботі категорій «знання», «розум», «інтелект», «добрий інтелект» та «добродесний інтелект» є важливим не тільки з позиції їх суспільно-предметної сутності, а і з позиції всезростаючої їх ролі і впливу на економіку макро- і мікрорівня.

Інтелект і інтелектуальний капітал виступають джерелами й умовою ефективності інновацій, інновації економіки і головне – засобом забезпечення економічної безпеки підприємства.

Темпи розвитку інтелекту й інтелектуального капіталу визначають темпи розвитку суспільства.

Разом з тим темпи розвитку суспільства – це далеко не все без якості такого розвитку. Тому дуже важливе значення має категорія «Якість суспільства».

Якість суспільства визначається якістю людського ресурсу, носієм якого є кожна окрема людина. Сукупний рівень і ступінь реалізації якостей людських ресурсів формує загальний рівень якості суспільства.

Рівень якості людського ресурсу людини і людського капіталу робітника – це ключовий чинник адаптації і безпеки підприємства.. Для суспільства і для економіки виключно важливо, щоб всі складові людського ресурсу і людського капіталу формувались і розвивались гармонійно, щоб вони, у своїй єдності, приносили суспільству і кожній окремій людині максимальний всебічний ефект.

Наприклад, щоб мав місце в життєдіяльності людини і розвитку суспільства не просто інтелект або інтелектуальний капітал, а щоб на базі духовно-морального чинника (для категорії «людський ресурс») і високого рівня духовно-морального капіталу (для категорії «людський капітал») формувався й діяв добрий інтелект і добродієльний інтелектуальний капітал.

Духовно-моральний капітал є єдиним і фундаментальним у складі людського капіталу з позиції своєї значимості і впливу на всі інші складові людського капіталу.

Високий рівень духовно-морального капіталу – це гарантія гармонійних відносин, доброти і справедливості, вимогливості щодо забезпечення прав і умов свого розвитку, свідомого відношення до своїх обов'язків і визначених особистих та загальних цілей, підтримки корпоративних цінностей та забезпечення високого рівня колективного менталітету, формування і розвитку суспільнозначимих переконань та поглядів тощо.

Духовно-моральний капітал і його базові елементи представлено на рис. 1.

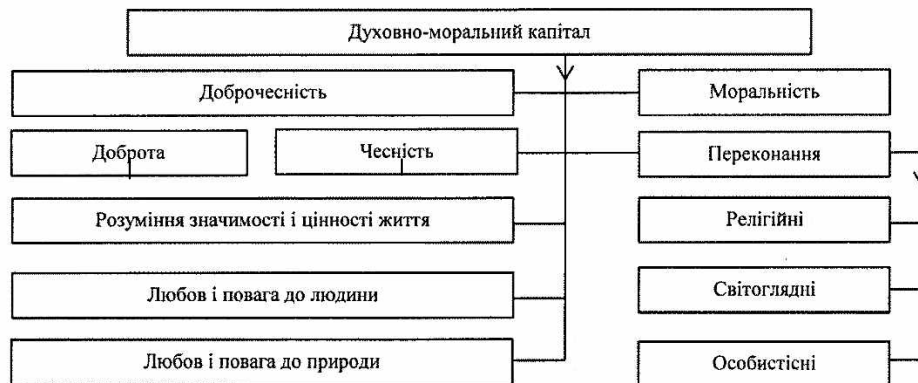


Рис. 1. Базові елементи духовно-морального капіталу

Категорії «добрий інтелект» і «добродієльний інтелектуальний капітал» зовсім по іншому й акцентовано відображають сутність, силу і напрям їх дії в соціальному чи економічному середовищі.

На рис. 2 представлено класифікацію інтелектуального капіталу і змістовні особливості його підвидів.

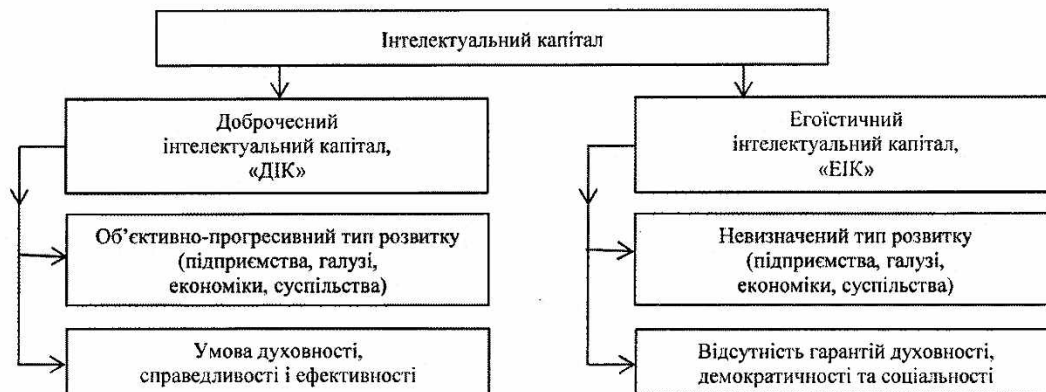


Рис. 2. Основні складові інтелектуального капіталу за їх змістом на соціальне і економічне середовище

Необхідно відзначити, що зміст і структура людського капіталу підприємства і людського капіталу конкретного робітника не є тотожними та мають свої особливості.

Структуру людського капіталу підприємства представлено на рис. 3. На рис. 3 відображено також можливості аналізу впливу окремих структурних елементів людського капіталу на рівень економічної безпеки підприємства.

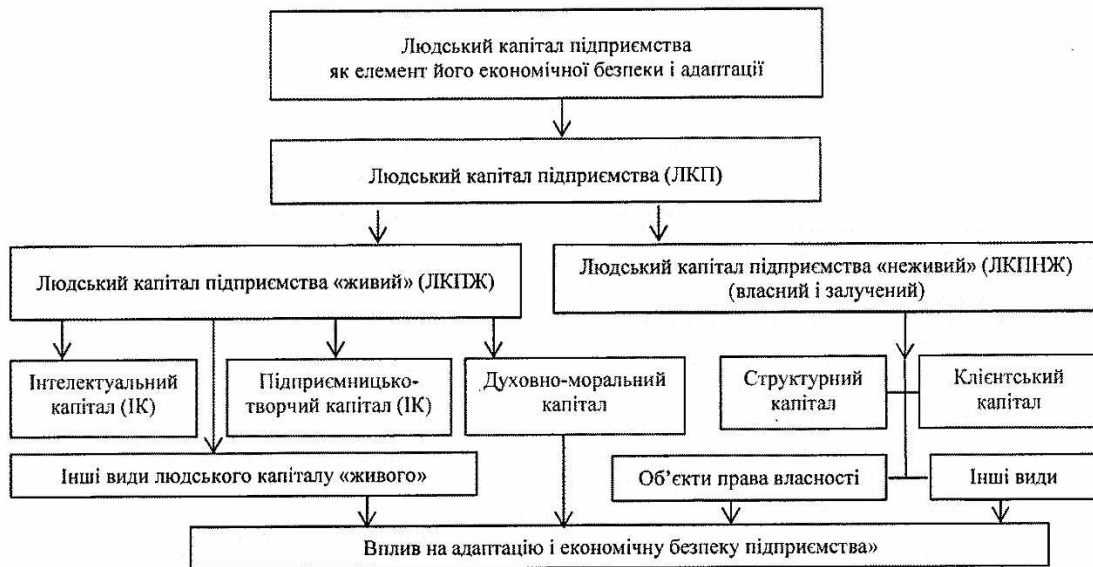


Рис. 3. Основні засади визначення структури людського капіталу і можливості деталізованого аналізу його впливу на адаптацію і рівень економічної безпеки підприємства

Важливим аспектом дослідження ролі і впливу людського капіталу на економічну і в цілому на виробничо-господарську діяльність будь-якого суб'єкта господарювання є визначення оцінки впливу кожного окремого елемента людського капіталу на відмічені вище аспекти діяльності суб'єкта господарювання. Така оцінка потребує, і це дуже важливо, глибокого дослідження з позиції сутності і вимірювання всіх складових елементів людського капіталу, бо на теперішній момент це питання далеке від свого рішення. А це вказує на великі резерви ефективного розвитку суб'єкта господарювання. Пошук таких резервів є вимогою сучасного етапу розвитку суспільного виробництва.

На рис. 4 представлено один із можливих варіантів впливу складових елементів людського капіталу на економіку підприємства.

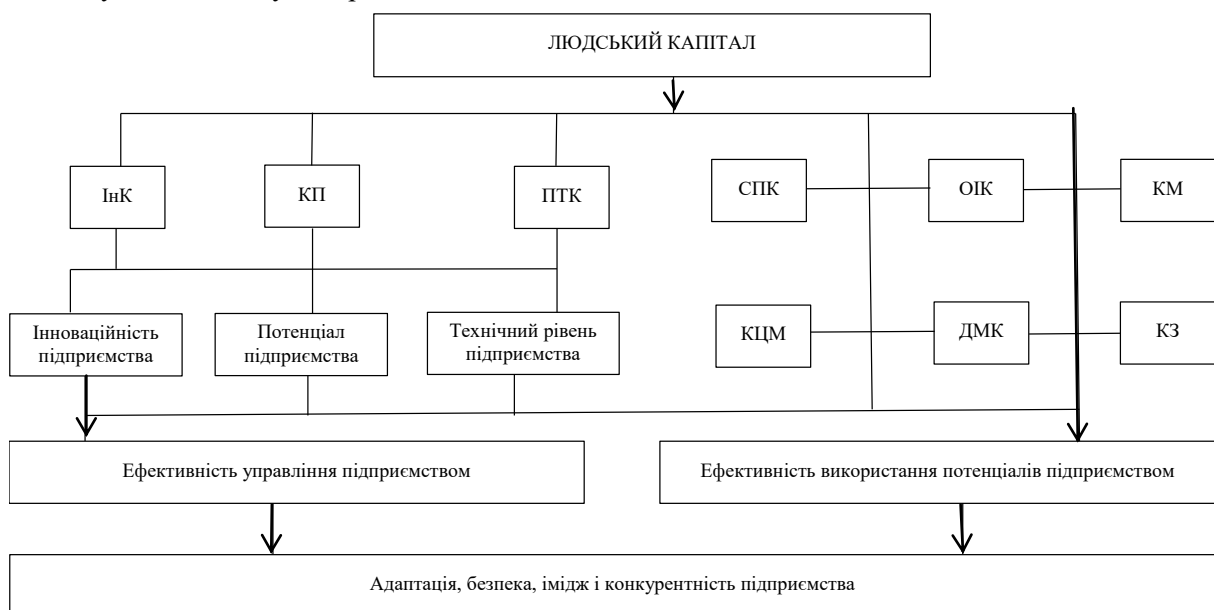


Рис. 4. Логіка впливу сукупності окремих елементів людського капіталу на базові сфери і напрям діяльності суб'єкта господарювання

Людський капітал, на наш погляд, для змістовного і комплексного дослідження, потрібно розглядати з таких позицій:

людський капітал – як економічна категорія;

людський капітал – за сутністю і визначенням;

людський капітал – за місцем, роллю і силою впливу на економіку;

людський капітал – як основа будь-якої системи управління та ключовий чинник забезпечення безпеки, іміджу, гудвілу і конкурентного розвитку;

людський капітал – як оціночний показник з відповідним набором складових елементів:

людський капітал за елементами; людський капітал – в системі оцінки витрат; людський капітал – в системі оцінки результатів; людський капітал – в системі оцінки ефективності;

людський капітал і його трансформація в майбутньому у всіх його аспектах.

Рисунок 5 дозволяє визначити формулу, яка відображає складові елементи людського капіталу живого, що притаманні як конкретному робітнику, так і в цілому всьому персоналу підприємства

$$\text{ЛКЖ} = \text{ІК} + \text{КП} + \text{ДМК} + \text{ПТК} + \text{СПК} + \text{ОІК} + \text{КЗ} + \text{КМ} + \text{КЦМ}. \quad (1)$$



Рис. 5. Структура людського капіталу робітника стосовно його змістовних складових

Формула (1) предметно розкриває ті якості людини-робітника, яким керівництво підприємства повинно приділяти всляку увагу і всебічно розвивати.

Складові елементи даної формули можуть бути оцінені певним методом у відповідності до існуючих можливостей науки і тим самим забезпечити достатньо обґрунтований підхід до оцінки ролі і впливу кожного із складових елементів людського капіталу на різні аспекти діяльності підприємства (економічні, соціальні тощо).

Розвиток людського капіталу і його складових елементів потребує відповідних витрат. А витрати в людський капітал повинні давати відповідну віддачу. Ці два аспекти є фундаментальними для розвитку будь-якого суб'єкта господарювання і в цілому суспільного розвитку.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Представлений в роботі матеріал дозволяє більш ґрунтовно, системно і предметно розкрити сутність значення і методи оцінки таких виключно важливих для суспільства і економіки категорій як людський і інтелектуальний капітал. Розглянуті наукові положення, висновки і результати є важливим підґрунтям щодо ефективного формування і використання людського капіталу на рівні будь-якого суб'єкта господарювання. Вони є певною базою до побудови принципово нового типу менеджменту, в центр якого буде покладено людський капітал з наголосом на кращих його якостях, а саме духовно-моральних, самореалізаційних і професійно-якісних.

У цьому аспекті оцінка ефективності і розвиток людського капіталу для науки і практики є пріоритетною.

Список літератури

1. Чухно А.А. Постіндустріальна економіка: теорія, практика та їх значення для України. – К.: Логос. – 2003.
2. Кастельс М. Информационная эпоха: экономика, общество и культура. – М.: ГУВШЭ. – 2000.
3. Мильнер Б.З. Управление знаниями. – М.: ИНФРА – М. – 2003.
4. Стюарт Т. Интеллектуальный капитал. Новый источник богатства организации. – М.: Academia. – 1999.
5. Иноземцев Е.Л. История и методологические основы постиндустриальной теории. – М.: Academia. – 1999.
6. Базилевич В.Д. Интеллектуальна власність: Підр. – К.: Знання – 2008.
7. Махлуп Ф. Производство и распространение знаний в США. – М.: ИНФРА - Academia. – 1999.. – 1966.
8. Святоцький О.П. Місце і роль інтелектуальної діяльності в економічному і соціальному розвитку країни // Інтелектуальний капітал. – 2004. - №3.
9. Эдвинссон Л., Мэлоун М. Интеллектуальный капитал: определение стоимости компании. - М.: Academia. – 1999.
10. Кендюхов О. Гносеологія інтелектуального капіталу // Економіка України. – 2003. - №4.

UDC 622.73:621.926

D.V. SHVETS, Senior Lecturer, Kryvyi Rih National University

IRON ORE GRINDING PROCESS AT THE CONCENTRATING PLANT UNDER FUZZY AND INCOMPLETE PARAMETERS

Purpose. To model the first technological phase of iron ore grinding process in the mill and classification at the concentrating plant, to control over the grinding process in terms of stochasticity of technological parameters.

Research methods. The methods of automatic control theory and mathematical modeling are to estimate transients; fuzzy logic methods are to control over the processing iron ore raw materials with fuzzy and incomplete technological parameters.

Scientific novelty. The listed iron ore processing parameters that most influence the grinding process enable to improve the existing mathematical models of processing iron ore raw materials at the first stage of grinding and classification at the ore-processing plants.

Practical significance. The fuzzy logic automatic control system of the first ore grinding and classification meets effectively the challenges that cannot be solved by classical methods due to high complexity and lack of sufficient technological data. Formalizing the rules for a fuzzy approach provides more precise result and is superior to others. Fuzzy logic can formalize the dependencies of any complexity, parameters in the controller with fuzzy logic can vary, fuzzy models are highly adaptable to expert data.

Results. The structural and functional analysis of the iron ore processing; the characteristics of technological parameters influencing the quality of grinding ore raw materials. The automated control of a first stage mill with fuzzy logic regulator consider the following technological input parameters: productivity of input ore, water consumption in the mill, ore hardness coefficient correlated with total iron content in ore, and sand consumption in the unloading cycle. A system of automatic control of the mill based on fuzzy logic was developed; a study of the operation of the mill using the Simulink tool for modeling and analysis of dynamics.

Key words: iron ore, grinding, mill, fuzzy logic, automated control, mathematical model.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-163-169

Problem statement. Processing iron ore in a first stage of grinding, classification and magnetic separation is fundamental in the enrichment plant. In the conditions of the Ore Processing Enterprise-1 PJSC "ArcelorMittal Kryvyi Rih" after the first stage of magnetic separation the content of iron in the product increases by 21%, accounting for about 50% of total sectional iron losses [1].

Note that the technological process of iron ore grinding and classification at the first stage is nonlinear and stochastic [2-5]. It is due to the fluctuations of physical-mechanical and chemical-mineralogical properties of raw materials. Therefore, the classical theory of automatic control rarely ensures a satisfactory outcome. Unclear and incomplete technological data of the object make it challenging to build an algorithm of the technological process.

Analysis of the recent research and publications Fuzzy logic is one of the most appropriate for working with nonlinear and stochastic processes. Morkun V.S. [6-8], Kupin A.I. [9-11], several domestic and foreign scientists [12-16] devoted their works to the automation of iron ore processing using fuzzy logic methods and neuro-fuzzy approaches.

The fuzzy sets and linguistic variables allow you to create an algorithm based on fuzzy logic, which is translated into program code. Such solutions are very commonly used in programming and successfully adopted in the automation of any technological process (in 1994, at the intersection of computer and other sciences L.Zadeh called them as softcomputing [17]).

Objectives of the article. To develop an automatic mill control system based on fuzzy logic.

Presentation of the main research and results. A fuzzy logic control algorithm is based on a fuzzy logic controller (FLC), which includes a fuzzy logic block (FLB). A block diagram of a fuzzy logic controller presented in Fig. 1 shows blocks 1, 2, 3 - normalization, FLB and denormalization. The fuzzy logic block 2 comprises a fuzzify unit 2.1, a rule base 2.2.1, an implication unit 2.2.2., and a defuzzify unit 2.3.

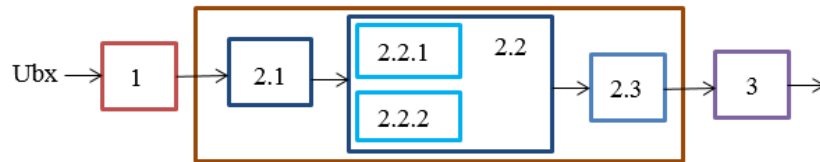


Fig. 1. A block diagram of a fuzzy logic controller

The algorithm of FLB operation can be represented as an input-output model and set by the equations (1). The physical variables converted into fuzzy ones through the fuzzify operation (*fuzz*) are determined by the task of fuzzy functions as triangles, trapezoids, bell-shaped functions. The inverse converting into physical variables is performed by the defuzzify operation (*dfz*) either by the methods of the center of gravity, or the center of the area, or the mean maximum. [18].

$$\{R_i\}_{i=1}^k = \begin{cases} R_1 : A_1 \circ r_1 = A_1(A_{11} \rightarrow A_{21}) = B_1; \\ R_2 : A_2 \circ r_2 = A_2(A_{12} \rightarrow A_{22}) = B_2; \\ \vdots \\ R_k : A_k \circ r_k = A_k(A_{1k} \rightarrow A_{2k}) = B_k; \end{cases} \quad (1)$$

$$A_i(i = \overline{1, k}) = \text{fuzz}(x_i), A_{ji} = \text{fuzz}(x_j, x_i);$$

$$B = \bigcup_{i=1}^k B_i, z = \text{dfz}B$$

where R_i is a rule, $\{R_i\}_{i=1}^k$ is a rule base; \circ is a composition of fuzzy relations; \rightarrow is a fuzzy implication; $A_i(i = \overline{1, k})$ is a local conclusion; B is a general conclusion; *fuzz* is the fuzzify operation; *dfz* is the defuzzify operation.

The FLB processes the fuzzy sets, whose output signal is determined by the tasks of setting fuzzy implication and composition.

The FLC is used in nonlinear systems or systems with nonlinear external influences, in systems with a long delay time.

To create a base of linguistic rules for a fuzzy system with two inputs and one output, the data as multiple pairs require:

$$(x_1(i), x_2(i), d(i)), i = 1, 2, \dots,$$

where $x_1(i)$, $x_2(i)$ are the signals supplied to the FLC input; $d(i)$ is the expected value of the output signal.

The Mamdani's fuzzy logic control algorithm is a set of heuristic rules for controlling a control object. Fuzzy sets and fuzzy logic are to represent linguistic terms and evaluate compound rules.

When controlling a mill of the first stage of iron ore grinding, a number of fuzzy input parameters simultaneously affect it, they are: productivity of input ore, t / h; water consumption, m³/h; ore hardness correlated with the total iron content in the ore; sand consumption in the unloading cycle, t/h.

When transporting iron ore pulp from the mill to the classifier, its initial parameters that affect the operation of the classifier need to be considered. Therefore, the computational model for the mill is multifaceted. The fuzzy and incomplete input and output vectors and their relationship in the control of the first grinding in the mill have the general form shown in Fig. 2. The technological parameters of the input and output vectors depicted above are given in Tables 1 and 2. Here are the minimum and

maximum allowable limits of the input and output vectors of the technological grinding process in the mill set by experts.

According to results of production processes, the output vector parameters $[V_{pr}, Sp]$ vary in a wide range and depend on the values of the input vectors $[P_m, V_{bm}, K_m, V_p]$. The presented block diagram in Fig. 2 developed an automatic control system (ACS) for a mill based on fuzzy logic (Fig. 3), and performed the study on the mill using a Simulink tool for modeling and analysis of dynamic systems. [19]. The pictured ACS includes a Fuzzy Regulator to control the grinding process of iron ore in the mill. The ACS based on fuzzy logic represents blocks that specify the inputs of the vector $[P_m, V_{bm}, K_m, V_p]$, and the outputs of the vector $[V_{pr}, Sp]$. The blocks have models which display the values of the received inputs. Each of these blocks represents the set average value of the interval for each parameter and the variance of this interval within the specified norms. The developed computational model of the system considers the mill as a typical aperiodic link of the first order, because any process of grinding the ore has inertia. The ACS uses the Fuzzy Logic Controller with Ruleviewer as the main regulating and control device, which operates according to the Mamdani's algorithm rules of fuzzy logic. See Fig. 4 for a graphical depiction of membership functions.

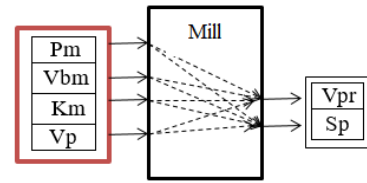


Fig. 2. A block diagram of input and output vectors and their interactions in the control of the first-stage grinding in the mill

Table 1
Technological fuzzy parameters for determining the input vector of the computational model for the mill control

Technological parameter	Mark	Limit value	
		min	max
Productivity of input ore, t / h	Pm	75	170
Water consumption, m ³ /h	Vbm	80	120
Ore hardness	Km	3	20
Sand consumption in the unloading cycle, t / h	Vp	120	255

Table 2
Technological fuzzy parameters for determining the output vector of the computational model for the mill control

Technological parameter	Mark	Limit value	
		min	max
Consumption of crushed ore, t / h	Vpr	75	170
Pulp density in a mill, t / h	Sp	1400	1700

The membership functions of the selected fuzzy variables of FLC inputs and outputs (Fig. 4) have five input and output variables. The methods of defuzzifying, implication, and limits of input and output variables for membership functions are chosen in this window. Then, the synthesized membership functions and their selected types, and the determined limits of membership functions.

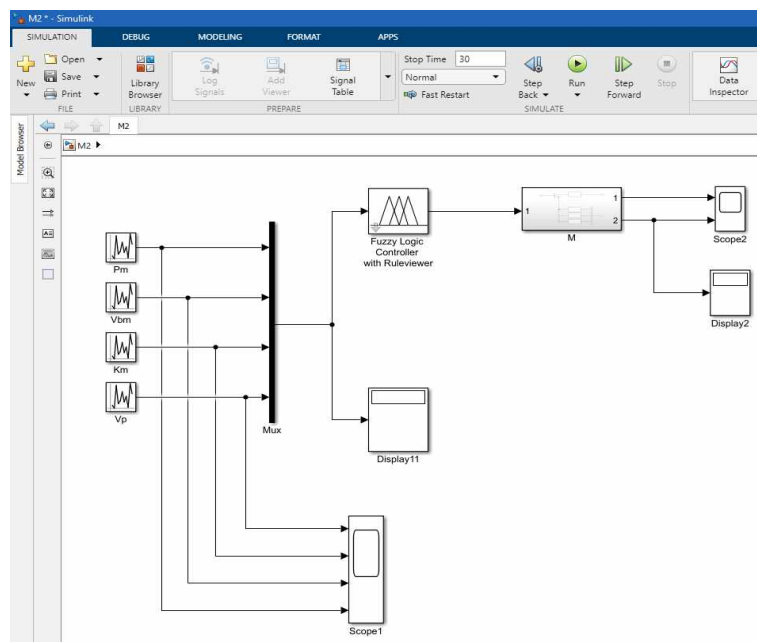


Fig. 3. A fuzzy logic mill ACS in the grinding process of iron ore

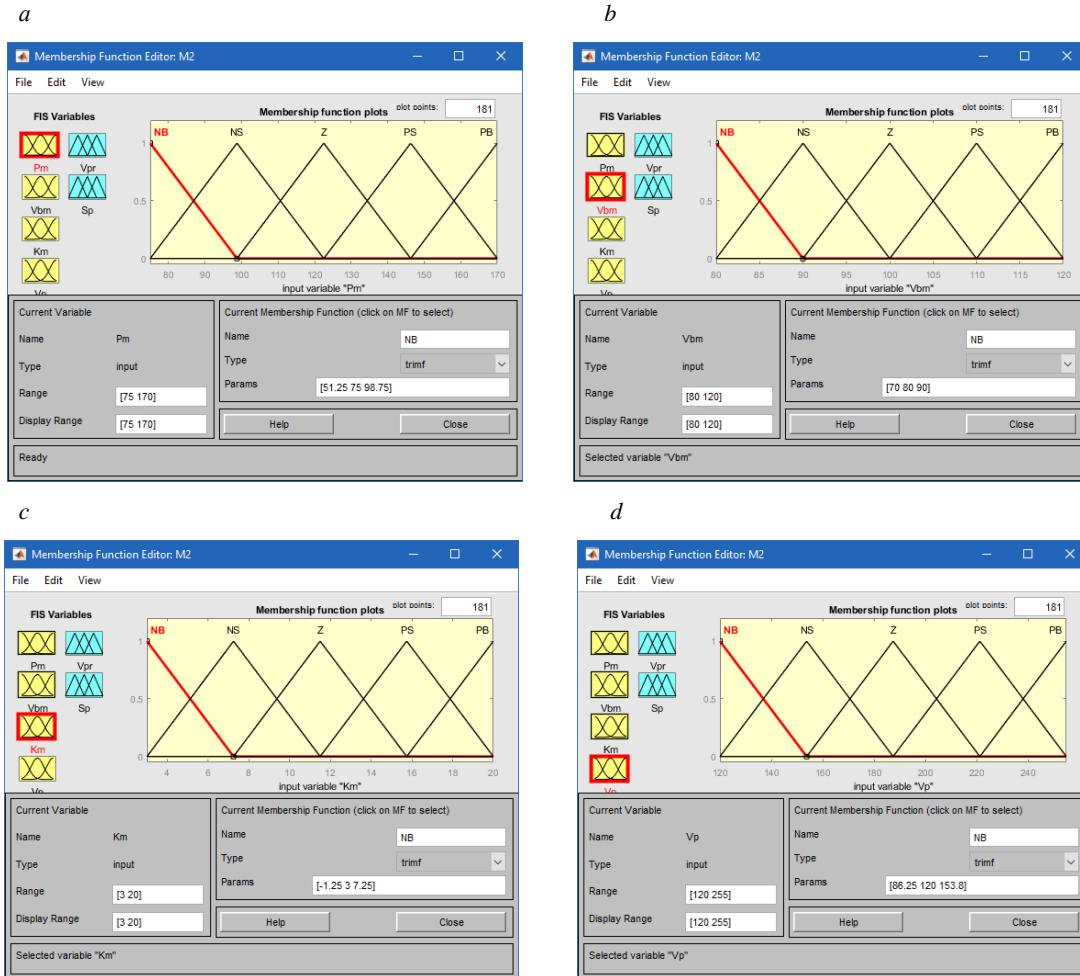


Fig. 4. The membership functions fuzzy variables of inputs and outputs for productivity of input ore (a), water consumption in a mill (b), ore hardness (c) and circulating loading (d)

Form and synthesize the FLC rule base. One of the rules presented looks like the following form in Fig. 5, b

$R_i (M)$: If (Pm is PB) \wedge (Vbm is Z) \wedge (Km is Z) \wedge (Vr is Z) then (Vpr is PB) \wedge (Vp is Z).

The other rules are similar to the presented in fig. 5 b.

After synthesizing the rule base, the FLC surfaces were determined to calculate the consumption of crushed ore in the mill Vpr (Fig. 6). Here, the synthesized RNL surfaces for the consumption of crushed ore are presented by the functional dependencies

$$Vpr = f(Pm, Vbm), Vpr = f(Pm, Km), Vpr = f(Pm, Vp), Vpr = f(Vbm, Vp).$$

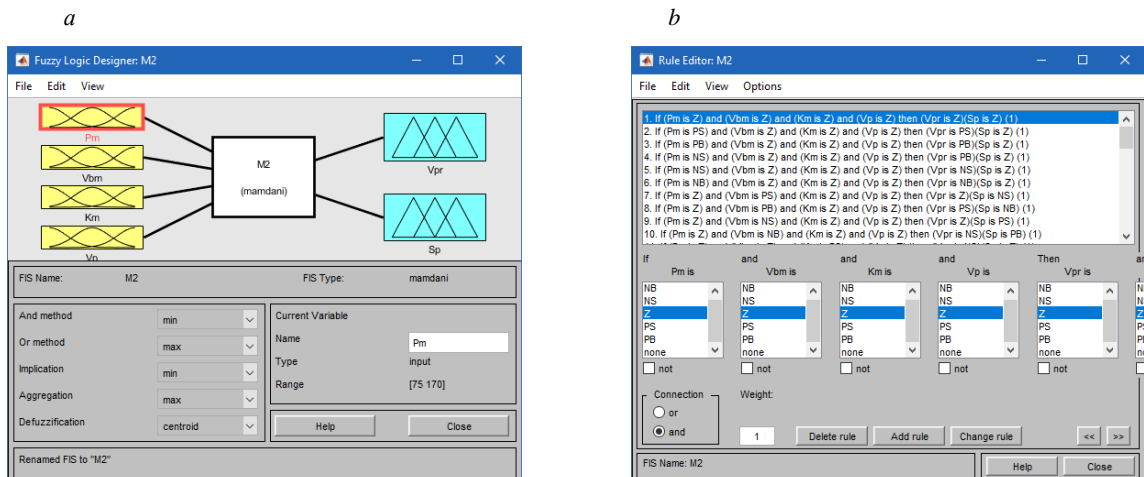


Fig. 5. The membership functions of the selected inputs and outputs (a) and knowledge base model (b)

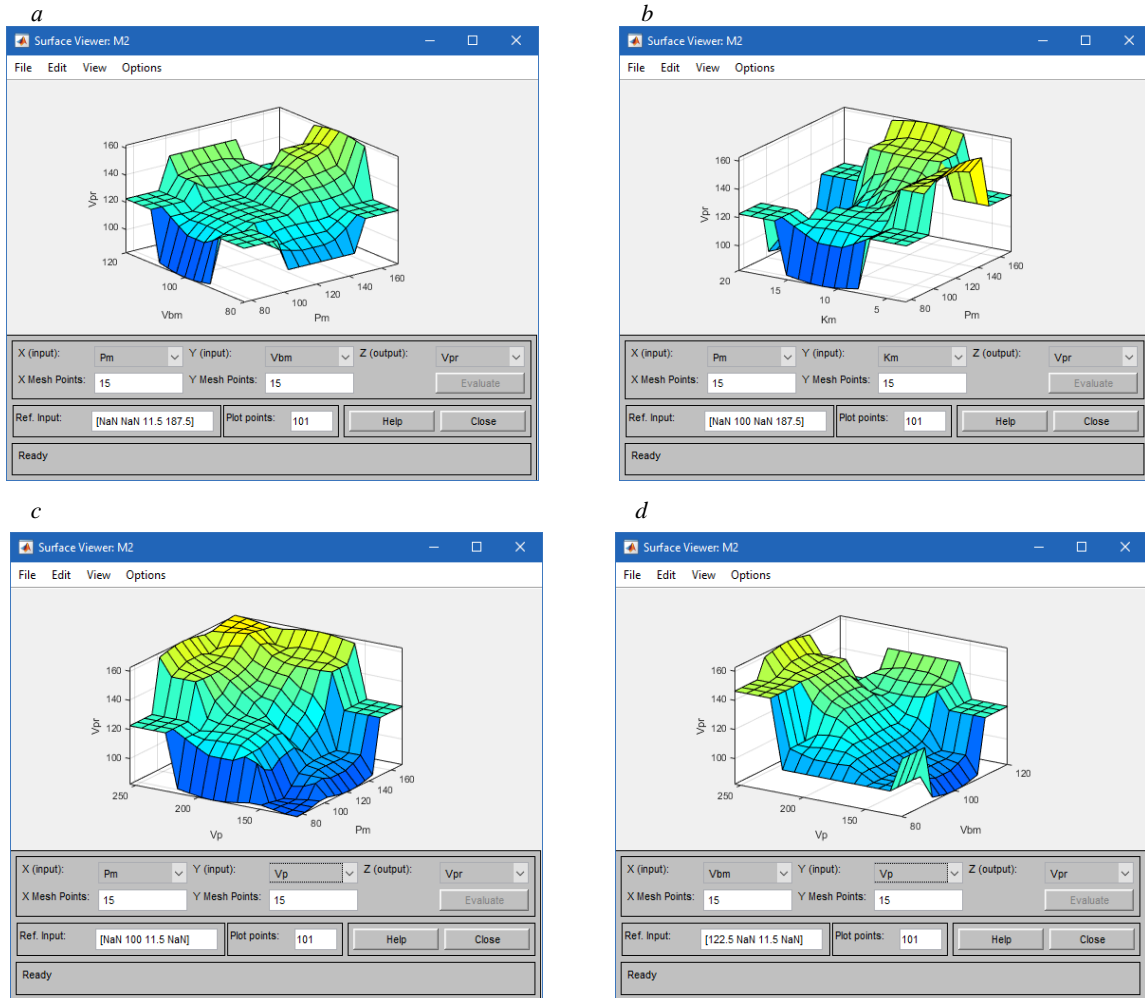


Fig. 6. The synthesized FLC surface for the consumption of crushed ore in a mill V_{pr} depending on the inputs P_m i V_{bm} (a), P_m i K_m (b), P_m i V_p (c), V_{bm} i V_p (d)

In Fig. 7, the following functional dependencies show the synthesized FLC surfaces for determining the pulp density in a mill,

$$S_p = f(P_m, V_{bm}), S_p = f(V_{bm}, V_p) \text{ i } S_p = f(V_{bm}, K_m).$$

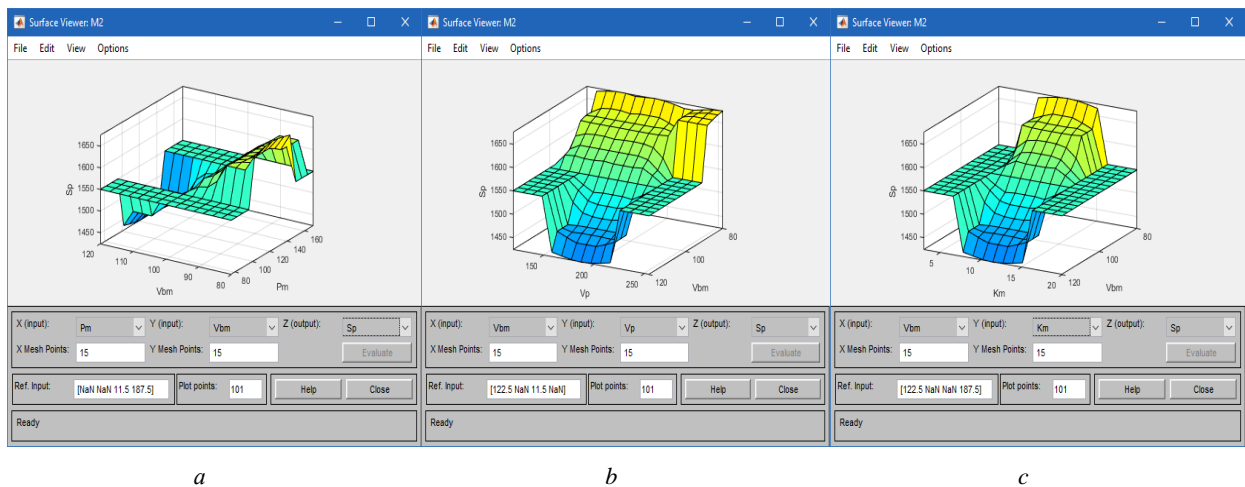


Fig. 7. The synthesized FLC surface for determining the pulp density in a mill depending on the inputs P_m i V_{bm} (a), V_{bm} i V_p (b), V_{bm} i K_m (c)

We modeled the impact of the technological input parameters on the output parameters during the grinding iron ore in the mill, by scattering the technological parameters under tables 1 and 2 with the corresponding rules; Fig. 8 shows the search for the general overview.

The Simulink model (see Fig. 3) with the input technological parameters (see Fig. 9) is simulated and shown in Fig. 10. When applying the inputs to the model (see Fig. 9), the changes in the outputs are like in the graphs of Fig. 10: pulp density in a mill $Sp=f(t)$ (graph *a*) and the consumption of crushed ore at the outlet of the mill for different time constants of the aperiodic link of the transfer function – $Vpr = f(t)$ (graph *b*).

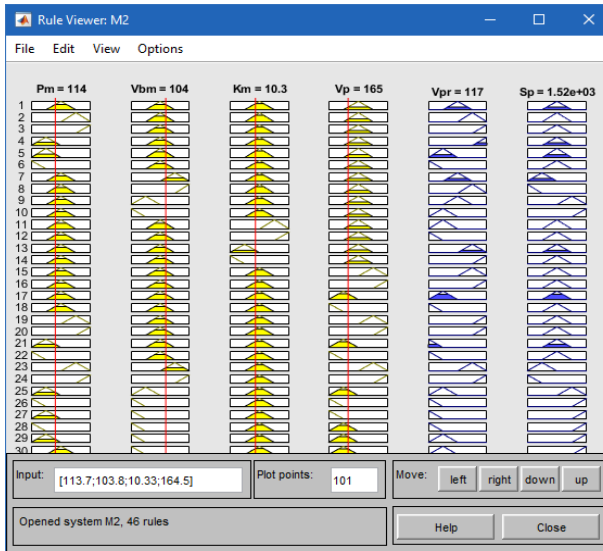


Fig. 8. Fuzzy overview defuzzifying

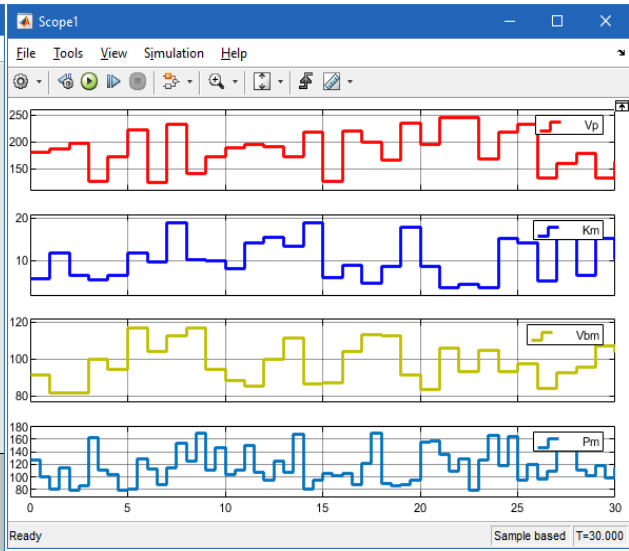


Fig. 9. A diagram of input technological parameters for FLC processing in control over the first grinding

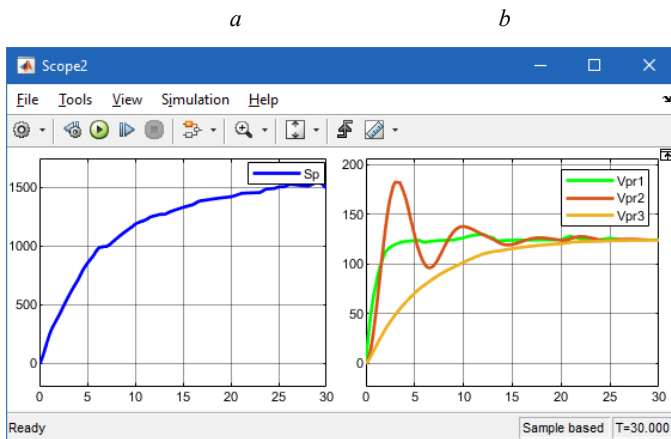


Fig. 10. An FLC in modeling the mill control system for the first-stage grinding ore: *a* - pulp density in a mill, *b* - consumption of crushed ore at the outlet of the mill

process ends is 25 seconds for all the above links. Doubling the time constant of the oscillating link leads to the oscillating changes in the consumption of crushed ore at the outlet of the mill – $Vpr = f(t)$ and the time of the transition increases. The outlets for determining the density of the drain pulp from the mill $Sp = f(t)$ (graph *b*) remain unchanged over time after 25 seconds.

Conclusions and direction of further research. To sum up, simulating the automated control of the mill for the first grinding ore based with the fuzzy logic controller suggests the following technological inputs: input ore productivity, water consumption in the mill, ore hardness (correlates with iron content in the ore) and sand consumption in the unloading cycle. It suffices to model the mill control object as an aperiodic or oscillating transfer function.

The mill control model described as a transfer function came from analytical calculations and experimental data. Thus, the initial dependence of the change in consumption of crushed ore at the outlet of the mill – $Vpr = f(t)$ is represented by three different links: 1 – aperiodic $W(s) = \frac{0.08}{s+1}$, 2 and 3 – respectively oscillating: $W(s) = \frac{0.08}{s^2 + 0.5s + 1}$ and $W(s) = \frac{0.08}{s^2 + 6s + 1}$.

Data gained from these studies indicate that for the consumption of crushed ore at the outlet of the mill – $Vpr = f(t)$ the time before transition pro-

References

1. Контроль содержания магнитного железа в пульсовых продуктах рудообогатительной фабрики / [Азарян А.А., Кучер В.Г., Цыбулевский Ю.Е., Швец Д.В.]. – INTERNATIONAL ACADEMY JOURNAL «Web of Scholar», Киев, №1(10), 2017, С.9-12.
2. **Shvets D.V.** Theoretical-probability approach to analyse the iron ore grinding process / Гірничий вісник. – Вип. 109 – 2021. – С. 111-117. doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-111-117
3. **A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, D. Shvets** Development of a method for operational control over quality of the iron ore raw materials during open and underground extraction // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Issue 5 (95). P. 13-19. doi: 10.15587/1729-4061.2018.144003.
4. **Azaryan A.** Complex automation system of iron ore preparation for beneficiation / **A. Azaryan, A. Pikilnyak, D. Shvets** // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Issue 8. – P. 64–66.
5. **Швец Д.В.** Синтез математичної моделі технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини з урахуванням її хіміко-мінералогічних характеристик на рудозбагачувальних фабриках // Гірничий вісник. – Вип. 107 – 2020. – С. 83-90. doi: 10.31721/2306-5435-2020-1-107-83-90
6. **Morkun V.** Formalization and frequency analysis of robust control of ore beneficiation technological processes under parametric uncertainty / **V. Morkun, N. Morkun, V. Tron** // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – No 5. – P. 7–11.
7. **Morkun V.** Optimization of the second and third stages of grinding based on fuzzy control algorithms / **V. Morkun, O. Savyt'skyi, M. Tymoshenko** // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Vol. 7. – No. 8. – P. – 22-25.
8. **Morkun V.** Investigation of methods of fuzzy clustering for determining ore types / **V. Morkun, S. Tevirkun** // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – Vol. 6. – No. 5. – P.12–15.
9. **Купін А.І.** Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології : Монографія. – Київ: Вид-во "Корнійчук". – 2008. – 204 с.
10. **Kupin, A. I.** Neural identification of technological process of iron ore beneficiation. – Proceedings of 4th IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems Technology and Applications (IDAACS'2007). Dortmund, Germany, 2007. P.225–227.
11. **Kupin, A.I.** Research of properties of conditionality of task to optimization of processes of concentrating technology is on the basis of application of neural networks. Metallurgical and Mining Industry, №4, pp. 51--55 (2014)
12. **Еременко Ю.И.** Нейросетевая идентификация процесса классификации железорудного концентрата в системе автоматизации работы гидроциклона // "Мехатроника, Автоматизация, Управление". – №10.–2004.– С.86–93.
13. **Кулаєнко О. А., Пермяков В. И.** Нейронные сети и нечеткая логика в управлении измельчительным оборудованием // Тези доповідей XXIII Міжнародної конференції з автоматичного управління (Автоматика–2006).– Вінниця: Вид-во ВНТУ «Універсум-Вінниця», 2006 .– С.392-393.
14. **Karr, C. L., Stanley, D. A., McWhorter, B.** Optimization of hydrocyclone operation using a geno-fuzzy algorithm. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2000.– №186.– P.517–530.
15. **Karr, C. L., Weck, B., Nishita, K.** A comparison of fuzzy and neural network modeling for separation equipment // Fluid Particle Separation Journal.– 1997.– №10(3).– P.81–95.
16. **Reuter, M.A. Dalmijn, W.L. and Schaik, A.V.** Smart product systems.– Recycling International.– 2002.– N9.– P. 34–36.
17. **Lotfi A. Zadeh.** Fuzzy logic, neural networks, and soft computing / Communications of the ACM Volume 37. - Issue 3 - March 1994. pp. 77–84. <https://doi.org/10.1145/175247.175255>
18. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / [К.А. Пупков, Н.Д. Егупов, А.И. Гаврилов и др.]; Под ред. Н.Д. Егупова. - М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 743 с. ISBN 5-7038-1635-1
19. Simulink [Електронний ресурс] - Режим доступу:<https://www.mathworks.com/products/simulink.html>.

АНОТАЦІЇ

УДК 622.7: 534

Моркун В. С., Моркун Н. В., Тронь В. В., А. А. Гапоненко, І. А. Гапоненко, О. Ю. Сердюк Оперативне розпізнавання геолого-мінералогічних різновидів гірських порід на основі ультразвукових вимірювань

Мета. Підвищення точності ультразвукового каротажу для визначення фізико-механічних і хіміко-мінералогічні характеристик гірської породи на основі значень швидкості поширення поздовжніх і поперечних хвиль, коефіцієнту загасання ультразвуку на основній частоті та вищих гармоніках, а також співвідношення цих параметрів.

Методи дослідження. Метод визначення геолого-мінералогічних різновидів гірських порід на основі оцінки змін швидкості поширення поздовжніх та поперечних об'ємних ультразвукових хвиль, співвідношення цих величин у контрольованому середовищі, а також параметр, що характеризує ступінь нелінійності цього процесу – величину загасання ультразвуку на основній та вищих гармоніках.

Наукова новизна. Встановлено, що для ідентифікації геолого-мінералогічних різновидів залізорудної сировини можуть бути використані оцінки змін швидкості поширення поздовжніх та поперечних об'ємних ультразвукових хвиль, співвідношення цих величин у контрольованому середовищі, а також параметр, що характеризує ступінь нелінійності цього процесу – величину загасання ультразвуку на основній і вищих гармоніках.

Практичне значення. Результати виконаних досліджень показали, що найбільш ефективним для вирішення поставленої задачі виявився метод Fuzzy C-Shape, за допомогою якого ідентифіковано геолого-мінералогічні різновиди залізорудної сировини із вірогідністю 0,91%.

Результати. У гірських породах швидкості поширення пружних хвиль змінюються в широкому діапазоні і залежать від фізичних властивостей, структури, текстури, стану та інших внутрішніх і зовнішніх факторів. Швидкості поздовжніх та поперечних ультразвукових хвиль у гірських породах визначаються їх пружними характеристиками: швидкість поздовжніх хвиль зростає зі збільшенням модуля Юнга і коефіцієнта Пуассона. Швидкість поширення пружних хвиль в гірських породах визначається їх пружними властивостями та густиною. Ця швидкість практично не залежить від довжини хвилі, що дозволяє використовувати для досліджень хвилі з будь-якими частотами коливань.

Пропонований метод на основі результатів ультразвукових вимірювань характеристик гірських порід і нечіткого логічного висновку дозволяє з високим ступенем точності ідентифікувати мінералого-технологічні різновиди руди в гірському масиві в початковій стадії технологічного процесу її видобутку і переробки, порівняти їх відповідного технологічного регламенту, а також технологічних агрегатів і тим самим забезпечує досягнення заданих показників гірничозбагачувального переділу з урахуванням вимог охорони навколишнього середовища та енергоефективності.

Ключові слова: геолого-мінералогічні різновиди, гірська порода, ультразвукові вимірювання, каротаж свердловин.

Morkun V.S., Morkun N.V., Tron V.V., Haponenko A.A., Haponenko I.A., Serdiuk O. Yu. Operational recognition of geological and mineralogical varieties of rocks on the basis of ultrasonic measurements

Purpose. To increase the accuracy of ultrasonic logging to determine the physical-mechanical and chemical-mineralogical characteristics of rock based on the values of the velocity of longitudinal and transverse waves, the attenuation coefficient of ultrasound at fundamental frequency and higher harmonics, and the ratio of these parameters.

Research methods. The method of determining geological and mineralogical varieties of rocks based on the assessment of changes in the velocity of longitudinal and transverse bulk ultrasonic waves, the ratio of these values in the controlled environment, and the parameter that characterizes the degree of nonlinearity of this process - the amount of ultrasound attenuation

Scientific novelty. It was established that estimates of changes in the velocity of propagation of longitudinal and transverse bulk ultrasonic waves, the ratio of these values in the controlled medium, as well as the parameter characterizing the degree of nonlinearity of this process - the amount of ultrasound attenuation can be used to identify geological and mineralogical varieties of iron ore and higher harmonics.

Practical significance. The results of the research showed that the most effective method for solving this problem was the Fuzzy C-Shape method, which identified geological and mineralogical varieties of iron ore with a probability of 0.91%.

Results. In rocks, the speed of propagation of elastic waves varies widely and depends on physical properties, structure, texture, condition and other internal and external factors. The velocities of longitudinal and transverse ultrasonic waves in rocks are determined by their elastic characteristics: the velocity of longitudinal waves increases with increasing Young's modulus and Poisson's ratio. The speed of propagation of elastic waves in rocks is determined by their elastic properties and density. This speed is almost independent of the wavelength, which allows you to use for research waves with any frequency. The proposed method based on the results of ultrasonic measurements of rock characteristics and fuzzy inference allows to identify with a high degree of accuracy mineralogical and technological varieties of ore in the mountain massif in the initial stage of the technological process of its extraction and processing, compare them. ensures the achievement of the set indicators of mining and processing redistribution, taking into account the requirements of environmental protection and energy efficiency.

Key words: geological and mineralogical varieties, rock, ultrasonic measurements, wells' logging.

УДК 622.831

Солодянкін О.В., Шаповал В.Г., Гапєєв С.М., Кравченко К.В., Солодянкін О.А. Комплексна оцінка впливу геомеханічних та технологічних факторів на інтенсифікацію деформаційних процесів в масиві порід навколо протяжних виробок

Мета. Метою досліджень є комплексна оцінка геомеханічних та технологічних факторів, що впливають на інтенсифікацію деформаційних процесів у приконтурному масиві порід в околі протяжних гірничих виробок.

Методи дослідження. Результати, наведені у статті отримані з використанням методів шахтних досліджень, математичної обробки натурних вимірів, аналізу та узагальнення результатів попередніх досліджень, досвіду спорудження та експлуатації підземних гірничих виробок різного призначення.

Наукова новизна. Встановлено, що збільшення площі поперечного перерізу капітальних виробок в умовах шахти імені Героїв космосу в 1,4 рази за останні 40 років викликало зростання зміщень породного контуру на величину $k_s = 1,175$. Отримано значення коефіцієнта інтенсивності деформацій $k_i = 0,66$, що дозволило оцінити сучасний геотехнічний стан породного масиву – зниження його міцності та збільшення напруженого стану порід через техногенну порушеність і сумарний вплив очисних та гірничопідготовчих робіт на ділянку експлуатаційного горизонту. Показано, що показник умов розробки шахти ім. Героїв Космосу на сучасному етапі експлуатації дорівнює $\theta = 0,41$ (визначений без урахування коефіцієнта k_i $\theta = 0,62$), що свідчить про високу ступінь складності умов експлуатації комплексу гірничих виробок.

Практична значимість. Виконана оцінка гірничо-геологічних, геотехнічних та технологічних факторів та отримані коефіцієнти, що характеризують інтенсифікацію деформаційних процесів навколо протяжних виробок. Це дозволяє визначити ступінь складності умов експлуатації виробок, обґрунтовано підійти до проектування конструкцій кріплення, засобів з охорони і підтримання виробок та технології ведення гірничопрохідницьких робіт. Практичними результатами має стати суттєве підвищення ефективності технологічних та організаційних рішень для забезпечення надійної і безпечної експлуатації капітальних і підготовчих протяжних виробок, а також зниження обсягів ремонтних робіт протягом тривалого терміну їх експлуатації.

Результати. Встановлені залежності зміщень контуру виробок від часу їх експлуатації для умов шахти імені Героїв Космосу компанії «ДТЕК Павлоградвугілля». Встановлені значення коефіцієнтів, що призводять до інтенсифікації зміщень породного контуру протяжних виробок: від технологічного параметру – площі поперечного перерізу виробки, враховане коефіцієнтом перерізу k_s та комплексу геомеханічних параметрів, що оцінюються коефіцієнтом інтенсивності деформацій k_i .

Ключові слова: капітальна гірнична виробка, тампонаж закріпного простору, міцність породного масиву, коефіцієнт перерізу, коефіцієнт інтенсивності деформацій.

Solodyankin A.V., Shapoval V.G., Hapiev S.M., Kravchenko K.V., Solodyankina O.A. Complex assessment of the influence of geomechanical and technological factors on the intensification of deformation processes in the rock massif near long roadways

Purpose. The purpose of the article is a complex assessment of geomechanical and technological factors influencing the intensification of deformation processes in the contour array of rocks in the vicinity of long-term mine roadways.

Research methods. The results presented in the article are obtained using the methods of mine research, mathematical processing of field measurements, analysis and generalization of the results of previous research, experience in construction and operation of underground mining for various purposes.

Scientific novelty. It is established that the increase in the cross-sectional area of capital roadways in the conditions of the Heroiv Kosmosu mine in 1,4 times over the past 40 years has caused an increase in displacements of the rock contour by $k_s = 1,175$. The value of the coefficient of deformation intensity $k_i = 0,66$ was obtained, which allowed to assess the current geotechnical condition of the rock mass - reducing its strength and increasing the stress state of rocks due to man-made disturbance and the total impact of cleaning and mining operations on the operational horizon. It is shown that the indicator of the conditions of development of the Heroiv Kosmosu mine at the present stage of operation is equal to $\theta = 0,41$ (determined without taking into account the coefficient k_i and $\theta = 0,62$), which indicates a high degree of complexity of the operating conditions of the mine roadways.

Practical significance. The estimation of mining-geological, geotechnical and technological factors is performed and the coefficients characterizing the intensification of deformation processes around long roadways are obtained. This allows you to determine the degree of complexity of the operating conditions of the mine roadways, a reasonable approach to the design of fastening structures, means of protection and maintenance of roadways and technology of mining operations. The practical results should be a significant increase in the efficiency of technological and organizational solutions to ensure reliable and safe operation of capital and preparatory long roadways, as well as reducing the amount of repair work over the long term of their operation.

Results. The dependences of the offset contours of the roadways on the time of their operation for the conditions of the DTEK Pavlogradugol Heroiv Kosmosu mine of have been established. The values of the coefficients leading to the intensification of displacements of the rock contour of long roadways are established: from the technological parameter – the cross-sectional area of the roadways, taking into account the cross-sectional coefficient k_s and the set of geomechanical parameters estimated by the strain intensity factor k_i .

Key words: capital mine roadways, tamponage of fixing space, strength of the rock, coefficient of cross section, coefficient of deformation intensity

УДК 699.865:692.23

Тимофєєв М. В., Шамріна Г. В. Методика визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару в конструкції зовнішньої стіни

Мета. Розробка і практична реалізація методики визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару для забезпечення виконання нормативних вимог до приведеного опору теплопередачі огорожувальної конструкції.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети застосовувались аналітичні розрахунки приведеного опору теплопередачі та товщини утеплювача зовнішньої стіни. При визначенні приведеного опору теплопередачі враховувався термічний вплив теплопровідних включень, що є характерними особливостями зовнішньої стіни, а також теплопровідних включень, що визначаються конструктивними особливостями всієї будівлі.

Наукова новизна. Обґрунтовано методичний підхід до визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару, що забезпечує виконання нормативних вимог до приведеного опору теплопередачі конструкції зовнішньої стіни.

Практична значимість. Запропонована методика спрощує визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару, що забезпечує виконання нормативних вимог до приведеного опору теплопередачі зовнішньої стіни на стадії прийняття проєктних рішень щодо її конструкції, і дозволить виконувати розрахунок в один прийом без багатоваріа-

тного пошуку необхідного рішення. Оскільки товщина шару утеплювача в зовнішній стіні безпосередньо пов'язана з трансмісійними тепловтратами через теплоізоляційну оболонку будівлі, то її визначення в один прийом за наведеною методикою спрощує подальші розрахунки енергетичної ефективності будівлі в цілому. За умов дотримання мінімальних вимог щодо показника енергоефективності в результаті цих розрахунків і застосування понижувального коефіцієнта до мінімально допустимої нормативної величини приведенного опору теплопередачі, товщина утеплювача може бути оптимізована і мати менше значення.

Результати. Обґрунтовано і наведено приклади практичної реалізації методики визначення товщини теплоізолюючого шару, яка придатна до використання на першому етапі конструювання зовнішньої стіни за умов дотримання нормативних вимог до приведенного опору теплопередачі огорожувальної конструкції. Методика базується на запропонованій аналітичній залежності для визначення товщини шару утеплювача в зовнішній стіні.

Ключові слова: опір теплопередачі, приведений опір теплопередачі, лінійний коефіцієнт теплопередачі, точковий коефіцієнт теплопередачі, теплоізолюючий шар, зовнішня стіна.

Tymofieiev M. V, Shamrina G. V. A method of calculating the minimal thermal insulation layer in the exterior wall construction

Purpose. Development of minimal thermal insulation layer calculating method to ensure compliance with the regulatory requirements for the reduced heat transfer resistance of the building envelope and its practical implementation

Research methods. To achieve this goal, analytical calculations of the reduced heat transfer resistance and the thermal insulation layer in the exterior wall were used. Calculations of the reduced heat transfer resistance considered the thermal effects of heat bridges, which are characteristic features of the exterior wall, as well as heat bridges, which are determined by the design features of the whole building.

Scientific novelty. A methodical approach for calculating the minimal thermal insulation layer, which ensures compliance with regulatory requirements for the reduced heat transfer resistance of the building envelope is substantiated.

Practical significance. The proposed method simplifies the minimal thermal insulation layer calculation, which ensure compliance with regulatory requirements for the reduced heat transfer resistance of the exterior wall at the stage of making primary decisions on its construction. This will allow one-step calculation without a multi-variant search for the required solution. Since the thermal insulation layer in the exterior wall is directly related to transmission heat loss through the building thermal insulation envelope, its determination in one go by this method simplifies further calculations of the building energy performance. Provided that the minimum requirements for the building energy performance are met, according to the results of these calculations, and a reduction factor is applied to the minimum allowable reduced heat transfer resistance according to the standards, the thermal insulation layer thickness can be optimized and reduced.

Results. The paper substantiates and gives examples of the method of calculating the minimal thermal insulation layer practical implementation, which is suitable for use at the first stage of designing the exterior walls with compliance to the regulatory requirements for the reduced heat transfer resistance of the building envelope. The method is based on the proposed analytic dependence to determine the thickness of thermal insulation layer in the exterior wall.

Key words: heat transfer resistance, reduced heat transfer resistance, linear heat transfer coefficient, point heat transfer coefficient, thermal insulation layer, exterior wall.

УДК 622.8

Руднєв Є.С., Гальченко В.А., Філатєва Е.М., Антошенко М.І. Сірка у вкопному вугіллі як фактор прояву небезпечних властивостей шахтопластів

Мета. Розробити спосіб визначення сукупностей шахтопластів, що відрізняються між собою вмістом сірки в органічній та мінеральних частинах вугілля та довести можливість та необхідність використання результатів цих досліджень для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів.

Методи дослідження. Методика заснована на попередньому розгляді співвідношення вмісту загальної сірки та сірки в горючій масі, а потім їх перерахунку із сухого стану на стан, близький до умов ведення гірничих робіт із залученням вологості вугілля та виходу золи для пластових (незбагачених) та збагачених проб. Такий підхід дозволив отримати додаткову інформацію щодо впливу процесів підготовки проб вугілля для їх аналізу на сухий беззольний стан палива та встановити вплив цих процесів на вміст сірки в органічній масі та мінеральних домішках, що необхідно для достовірного прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів.

Наукова новизна. Вміст загальної сірки в органічній масі та мінеральних домішках, не дорівнює в загальному випадку, сумі її вмісту в горючій та негорючих частинах. Згідно з експериментальними даними, можливе будь-яке співвідношення між цими показниками для окремих шахтопластів.

Практичне значення. Різні співвідношення між вмістом сірки в органічній масі та мінеральних домішках у порівнянні з її вмістом у горючій та негорючій частинах дозволяють за цими ознаками проводити градацію шахтопластів за ступенем можливого прояву ними небезпечних властивостей, що необхідно для вдосконалення нормативної бази щодо безпечного ведення гірничих робіт.

Результати. Випадковий вміст сірки в органічній масі та мінеральних домішках вугілля окремого шахтопласту є однією з причин фактичного співвідношення між основними компонентами органічної маси та мінеральних домішок, що визначають значною мірою прояв небезпечних властивостей шахтопластів під час гірничих робіт. Наведені в нормативно-довідкових документах з якості палива значення основних компонентів на горючий стан адекватно відображають споживчі властивості вугілля, але не відповідають їх стану в зоні ведення гірничих робіт через наявність мінеральних домішок і вологи. У сучасних нормативних документах щодо безпечного ведення гірничих робіт не розглядаються показники стану вугілля, наведеного до його вихідного (робочого) стану.

Ключові слова: вугілля, стан, сірка, небезпечні властивості, нормативна база, удосконалення.

Rudniev Ye.S., Galchenko V.A., Filatieva E.M., Antoshchenko M.I. Sulfur in fossil coals as a factor of hazardous properties of coal seams

Purpose. To develop a method for determining the sets of coal seams that differ from each other in the content of sulfur in the organic and mineral parts of coals and to prove the possibility and necessity of using the results of these studies to predict the hazardous properties of coal seams.

Research method is based on a preliminary consideration of the ratio of the content of total sulfur and sulfur in the combustible mass, and then their recalculation from a dry state to a state close to the conditions of mining operations with the involvement of coal moisture and ash yield for seam (unenriched) and enriched samples. This approach made it possible to obtain additional information on the effect of the processes of preparing coal samples for their analysis on the dry ash-free state of the fuel and to establish the effect of these processes on the sulfur content in the organic mass and mineral impurities, which is necessary for a reliable prediction of the hazardous properties of coal seams.

Scientific novelty. The content of total sulfur in organic matter and mineral impurities is not equal, in the general case, to the sum of its content in combustible and non-combustible parts. According to experimental data, any ratio between these indicators is possible for individual coal seams.

Practical significance. A different ratio between the sulfur content in the organic mass and mineral impurities compared to its content in the combustible and non-combustible parts allows, according to these features, to produce a gradation of coal seams according to the degree of their possible manifestation of hazardous properties, which is necessary to improve the regulatory framework for the safe conduct of mining operations.

Research results. The random sulfur content in the organic mass and mineral impurities of the coals of an individual coal seam is one of the reasons for the actual relationship between the main components of the organic mass and mineral impurities, which largely determine the manifestation of the hazardous properties of coal seams during mining operations. The values of the main components for the combustible state given in the reference documents on fuel quality adequately reflect the consumer properties of coals, but do not correspond to their state in the mining area due to the presence of mineral impurities and moisture. Modern normative documents on the safe conduct of mining operations do not consider indicators of the state of coal brought to its initial (working) state.

Key words: coal, state, sulfur, organic matter, mineral impurities, combustible part, ratio, hazardous properties, gradation, regulatory framework, safety, improvement

УДК 669.162.267.6

Воденнікова О.С., Воденнікова Л.В., Бабошко Д.Ю., Головков П.В. Позадоменна десульфурізація чавуну: теоретичні основи, сучасні технології та аналітично-розрахункова обробка показників десульфурізації

Мета. Метою роботи є аналіз досвіду сучасних технологій позадоменної десульфурізації чавуну та на їх основі аналітично-розрахункова обробка відомих експериментальних та розрахункових даних показників десульфурізації чавуну. Поставлена мета в роботі вирішується наступними завданнями: визначити найбільш техніко-економічно ефективні реагент-десульфуратори для позадоменної десульфурізації чавуну; проаналізувати сучасні методи позадоменної десульфурізації чавуну; на основі відомих експериментальних та розрахункових даних запропонувати аналітично-розрахункову обробку показників десульфурізації чавуну.

Методи досліджень. При узагальненні та аналізі науково-технічної літератури з напрямку сучасного огляду українського та закордонного досвіду позадоменної десульфурізації чавуну використовувався комплексний підхід. Аналітично-розрахункова обробка відомих експериментальних та розрахункових даних залежності ступеня використання магнію на десульфурізацію чавуну від концентрації сірки в металі при застосуванні в якості реагент-десульфуратору гранульованого магнію марки МГП-99 (згідно з ТУ 1714-004-43055164-2004) та суміші гранульованого магнію й флюїдизованого вапна (згідно з ТУ У 26.5-00193714-042-2001) проводилася кореляційно-регресійним методом в програмі Excel (з оцінкою коефіцієнту детермінації).

Наукова новизна. Показано залежність ступеня використання магнію на десульфурізацію чавуну (на прикладі природно-легованого та переробного чавунів) від концентрації сірки в металі при застосуванні в якості реагент-десульфуратора гранульованого магнію та суміші гранульованого магнію й флюїдизованого вапна. Здобула подальший розвиток аналітично-розрахункова обробка відомих експериментальних та розрахункових даних з оцінкою коефіцієнту детермінації, що показує на можливості збільшення ступеня використання магнію на десульфурізацію чавуну до 90 %.

Практичне значення. Результати теоретичного аналізу ефективності сучасних технологій позадоменної десульфурізації чавуну можуть бути використані при викладанні спеціальних дисциплін для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 136 «Металургія».

Результати. Показано можливості українських та закордонних металургійних підприємств при використанні різних реагент-десульфураторів для позадоменної десульфурізації чавуну досягти ступеня десульфурізації чавуну в межах 50–99 % та вмісту сірки після десульфурізації до 0,005 %.

Ключові слова: десульфурізація чавуну, реагент-десульфуратор, ступінь десульфурізації, ступінь використання магнію на десульфурізацію.

Vodennikova O.S., Vodennikova L.V., Baboshko D.Y., Golovkov P.V. Off-domain desulfurization of cast iron: theoretical foundations, modern technologies and analytical and computational processing of desulfurization indicators

Purpose. The aim of the work is to analyze the experience of modern technologies of off-domain desulfurization of cast iron and on their basis analytical and calculation processing of known experimental and calculated data of indicators of pig iron desulfurization.

The set goal in the work is solved by the following tasks: to determine the most technically and cost-effective desulfurizer reagent for off-domain desulfurization of cast iron; to analyze modern methods of off-domain desulfurization of cast iron; on the basis of known experimental and calculated data to offer analytical and calculation processing of indicators of desulfurization of pig-iron.

Research methods. A comprehensive approach was used in the generalization and analysis of scientific and technical literature in the direction of modern review of Ukrainian and foreign experience of off-domain desulfurization of cast iron. Analyt-

ical and calculation processing of known experimental and calculated data of the dependence of the degree of use of magnesium on the desulfurization of cast iron on the concentration of sulfur in the metal when used as a reagent-desulfurizer granular magnesium brand MGP-99 according to TU 1714-004-43055164-2004 and a mixture of granular magnesium and fluidized lime and according to TU U 26.5-00193714-042-2001 it was carried out by correlation-regression method in Excel (with an estimate of the coefficient of determination).

Scientific novelty. The dependence of the degree of use of magnesium on the desulfurization of cast iron, done on the example of naturally alloyed and processed cast iron, on the concentration of sulfur in the metal when used as a reagent-desulfurizer granular magnesium and a mixture of granular magnesium and fluidized lime. Analytical and computational processing of known experimental and computational data with estimation of the coefficient of determination, which shows the possibility of increasing the degree of use of magnesium for the desulfurization of cast iron to 90%, has been further developed.

Practical significance. The results of the theoretical analysis of the effectiveness of modern technologies of off-domain desulfurization of cast iron can be used in the teaching of special disciplines for applicants for the first (bachelor's) level of higher education in the specialty 136 «Metallurgy».

Results. The possibilities of Ukrainian and foreign metallurgical enterprises to achieve the degree of pig iron desulfurization in the range of 50–99 % and sulfur content after desulfurization up to 0.005 % when using different reagent desulfurizers for off-domain iron desulfurization are shown.

Key words: pig- iron desulfurization, desulfurizer reagent, degree of desulfurization, degree of use of magnesium for desulfurization

УДК 622.74: 621.928.235

Яцун В.В., Почужевський О.Д., Тищенко В.Ю. Імітаційне моделювання роботи вібраційного грохота, що працює в резонансному режимі

Мета. Дослідження процесу збудження двочастотних резонансних вібрацій коробка грохоту пасивними автобалансирами.

Створено імітаційну модель модернізованого грохоту інерційного, у якому в якості віброзбудника використовується кульовий автобалансир, що дозволяє створювати двочастотні резонансні вібрації. Був виділений ряд основних параметрів, що впливають на стійкість двочастотних резонансних вібрацій. Установлено, що області існування двочастотних резонансних вібрацій мають великі межі, що дозволяє змінювати характеристики двочастотних резонансних вібрацій зміною багатьох параметрів. Зроблено висновок про можливість отримання позитивного ефекту від заміни інерційного віброзбудника на двочастотний резонансний.

Методи дослідження. Дослідження проводилися з використанням комп'ютерної САПР Solidworks для створення імітаційної моделі і модуля Cosmos Motion для моделювання динаміки вібромашини. Обробка отриманих даних проводилась в системі комп'ютерної алгебри Mathcad.

Наукова новизна. Визначені області зміни основних параметрів, що забезпечують швидке і гарантоване настання двочастотних резонансних вібрацій. Сформульовані та перевірені припущення щодо дії механізму виникнення двочастотних резонансних вібрацій.

Практична значимість. Поєднання переваг резонансної вібромашини із двочастотним віброзбудником дозволить одержати енергоефективну машину з підвищеною продуктивністю. Методика імітаційного моделювання, реалізована для вібраційного грохоту, може бути використана й для інших вібраційних машин.

Результати. В розробленій імітаційній моделі, що має ідентичні геометричні, масово-інерційні параметри й повністю відповідає натурному грохоту, установлено, що в широкій області зміни параметрів системи гарантовано настають двочастотні резонансні вібрації. До цих параметрів віднесено: масу коробка, масу коригувальних вантажів, масу дебалансу, частоту обертання дебалансу, жорсткість опор та сили в'язкого опору. Збільшення маси коробка сприяє зменшенню нижчої частоти коливань. При цьому коригувальні вантажі автоматично підлаштовуються під зміну маси коробка. Збільшення маси коригувальних вантажів прямопропорційно сприяє збільшенню амплітуди повільних коливань коробка. Збільшення маси дебалансу в корпусі автобалансира прямопропорційно збільшує амплітуду швидких коливань коробка. Збільшення частоти обертання ротора прямопропорційно збільшує швидкість швидких коливань коробка. Був визначений ряд параметрів, що впливають на значення амплітуди повільних коливань.

Ключові слова: резонанс, двочастотний віброзбудник, дебаланс, автобалансир, грохот, імітаційне моделювання

Yatsun V.V., Pochushevskiy O.D., Tyshchenko V. Yu. Simulation of the vibration screen operation in resonance mode

Purpose. To investigate excitation of two-frequency resonant vibrations of the screen box by passive autobalancers. An upgraded inertial screen with a ball autobalancer as a vibrating exciter was simulated, which creates two-frequency resonant vibrations. The basic parameters influencing the stability of two-frequency resonant vibrations was identified. The existence of two-frequency resonant vibrations has large limits and allows to change the characteristics of two-frequency resonant vibrations by changing many parameters. A positive effect from the replacement of the inertial vibrator with a two-frequency resonant was obtained.

Research methods are as follows: Solidworks CAD program to create a simulation model, and a Cosmos Motion module to simulate the dynamics of a vibrating machine. The obtained data were processed in the computer algebra system Mathcad.

Scientific novelty. The change areas of the basic parameters providing fast and guaranteed approach of two-frequency resonant vibrations are defined. Assumptions about the operation of the mechanism of two-frequency resonant vibrations are formulated and tested.

Practical significance. The advantages of a resonant vibrating machine with a two-frequency vibrating exciter enables to get an energy-efficient machine of high productivity. The simulation technique implemented for vibrating screens can be used for other vibrating machines.

Results. In the developed model, which has identical geometric, mass-inertial parameters and fully corresponds to the natural screen, under changes in system parameters are guaranteed to occur two-frequency resonant vibrations. These parameters include box's weight, corrective load weight, unbalance weight, unbalance speed, stiffness of supports and viscous resistance forces. Increasing the weight of the box reduces the lower frequency of oscillations. The corrective loads are automatically adjusted to change of a box's weight. Increasing the mass of corrective loads directly proportionally increases the amplitude of slow oscillations of the box. Increasing the mass of unbalance in the body of the autobalancer directly proportionally increases the amplitude of rapid oscillations of the box. Increasing the speed of the rotor directly proportionally increases the speed of rapid oscillations of the box. Parameters influencing the amplitude of slow oscillations were determined.

Key words: resonance, two-frequency vibration exciter, unbalance, autobalancer, screen, modeling.

УДК 004.896

Сінчук О.М., Берідзе Т.М., Сінчук І.О., Філіпп Ю.Б. Зasadничі імперативи сутності аналізу енергоємності видобутку залізорудної сировини на підземних підприємствах Кривбасу

Мета. Мета статті є визначення найбільш енергоємних складових виробничого потенціалу підземних підприємств залізорудної галузі Криворізького регіону. Дослідження взаємодії та проведення порівняльного аналізу виділених складових елементів.

Методи дослідження. Для дослідження поставленого завдання застосована методологія системного підходу та методи системного аналізу задля виділення енергоємних елементів складної виробничої системи. Проведено порівняльний аналіз на засадах методології багатofакторного регресійного аналізу.

Наукова новизна. Виділено найбільш енергоємні складові на підземних підприємствах залізорудної промисловості, відповідно до концептуальних положень щодо управлінських процесів споживання електроенергії на підприємствах залізорудної промисловості. Доведено, що такими енергоємними елементами для залізорудних підприємств Кривбасу є скіпові підйомні установки, дробильно-сортувальна фабрика, водовідливні установки, вентиляційні установки. Показана взаємодія виділених системних елементів виробничої системи залізорудного підприємства.

Практична значимість. Побудовані регресійні моделі дозволили більш детально дослідити енергоємні складові щодо залізорудних підприємств. Проведений порівняльний аналіз дозволив окреслити проблемні питання щодо практичного застосування результатів моделювання для ш «Гвардійська». З'ясовано, що специфічні технологічні процеси, які відбуваються на ш. «Гвардійська» потребують перевірки складових факторів впливу. Загалом, для підземних підприємств Кривбасу характерним є негативний вплив на загальне споживання електричної енергії факторів, які характеризують роботу складової дробильно-сортувальної фабрики. На основі аналізу отриманих моделей формуються відповідні управлінські рішення щодо видобутку залізорудної сировини на підприємствах Кривбасу.

Результати. Отримані відповідні кількісні показники факторів впливу на енергоємність складових виробничої системи залізорудних підприємств Кривбасу. Визначені негативний та позитивний вплив на загальне споживання електроенергії складових виробничої системи, а саме: скіпові підйомні установки, дробильно-сортувальна фабрика, водовідливні установки, вентиляційні установки. Для всіх підприємств, що аналізувались, характерним є негативний вплив на загальне споживання електроенергії складової, яка визначає дробильно-сортувальну фабрику. Вважається доцільним збільшити обсяг інформаційного простору задля більш ретельного опису та визначення характеристик енергоємних складових, що впливають на видобуток залізорудної сировини на підприємствах Кривбасу.

Ключові слова: енергоємність, підприємство, електроспоживання, модель, регресія, залізорудна сировина

Sinchuk O.M., Beridze T.M., Sinchuk I.O., Philip Yu.B. Basic imperatives of the essence of the analysis of energy intensity of iron ore extraction at the underground enterprises of Kryvbas

Purpose. To determine the most energy-intensive components of the production potential of underground enterprises of the iron ore industry in the Kryvyi Rih region. Research of interaction and carrying out of the comparative analysis of the selected constituent elements.

Research methods. To study this task, the methodology of the system approach and methods of system analysis are used to identify energy-intensive elements of a complex production system. A comparative analysis based on the methodology of multifactor regression analysis.

Scientific novelty. The most energy-intensive components at the underground enterprises of the iron ore industry are allocated, according to conceptual provisions concerning administrative processes of consumption of the electric power at the enterprises of the iron ore industry. It is proved that such energy-intensive elements for iron ore enterprises of Kryvbas are skip lifting installations, crushing and sorting factory, drainage installations, ventilation installations. The interaction of the selected system elements of the production system of the iron ore enterprise is shown.

Practical significance. The built regression models allowed to study in more detail the energy-intensive components of iron ore enterprises. The conducted comparative analysis allowed to outline the problematic issues regarding the practical application of the simulation results. for w "Guards". It was found that the specific technological processes that occur on the road. "Guards" need to check the constituent factors of influence. In general, the underground enterprises of Kryvbas are characterized by a negative impact on the overall electricity consumption of the factors that characterize the operation of the component of the crushing and sorting plant. On the basis of the analysis of the received models the corresponding administrative decisions concerning extraction of iron ore raw materials at the enterprises of Kryvbas are formed.

Results. Relevant quantitative indicators of factors influencing the energy intensity of the components of the production system of iron ore enterprises in Kryvbas were obtained. Negative and positive impact on the total electricity consumption of the components of the production system, namely: skip hoists, crushing and sorting plant, drainage systems, ventilation systems. All the analyzed enterprises are characterized by a negative impact on the total electricity consumption of the component that determines the crushing and sorting plant. It is considered expedient to increase the amount of information

space for a more thorough description and determination of the characteristics of energy-intensive components that affect the extraction of iron ore at the enterprises of Kryvbas.

Key words: energy consumption, enterprise, electricity consumption, model, regression, iron ore raw materials

УДК 622.807

Єжов В.В., Рясний В.М., Євстратенко І.А., Маланчук З.Р., Чухарев С.М. Стан аварійності на підприємствах гірничодобувної галузі України

Мета. Проаналізувати роботу воєнізованої гірничорятувальної (аварійно-рятувальної) служби, що обслуговувала гірничорудні підприємства регіону у 2020 році. Визначити причини аварій та аварійно-небезпечних ситуацій, що виникають на гірничорудних підприємствах з підземним та відкритим видобутком корисних копалин.

Методи дослідження. Обробка статистичних даних щодо причин виїздів служби за родом аварій та аварійно-небезпечних ситуацій, що виникають на гірничорудних підприємствах.

Наукова новизна. Розроблені заходи щодо підвищення протипожежного захисту гірничодобувних підприємств, заходи щодо попередження аварій та аварійно-небезпечних ситуацій, а також травматизму.

Практична значимість. Домінуючими видами аварій та аварійно-небезпечних ситуацій при використанні технологічного обладнання на відкритих гірничих роботах є пожежі. Проаналізовані резонансні пожежі у моторному відділенні екскаватора, на приводній станції головного конвеєрного штреку шахти, у кабіні машиніста екскаватора, у кабельному поверсі дільниці мокрого розмелювання на гірничорудних підприємствах. Крім пожеж основними факторами аварійності на гірничодобувних підприємствах були: внутрішньошахтний та внутрішньокар'єрний транспорт, рудниковий (шахтний) підйом, нещасні випадки під час виконання планових виробничих завдань (трудових обов'язків).

Результати. На основі проведеного аналізу аварій та аварійних ситуацій при підземному та відкритим видобутку у 2020 році, пов'язаних з обваленнями гірничих порід в експлуатаційних виробках визначені причини: порушення технології при перекріпленні гірничих виробок; неправильно вибрані параметри кріплення, які треба обирати, враховуючи фізико-механічні властивості вміщуючих гірничих порід, у яких розташовані ці виробки. Розроблені відповідні заходи щодо підвищення протипожежного захисту гірничодобувних підприємств, заходи щодо попередження аварій та аварійно-небезпечних ситуацій, а також травматизму від падаючих кусків гірничої породи, заходи щодо попередження аварій та аварійних ситуацій на внутрішньошахтному та внутрішньокар'єрному технологічному транспорті, заходи щодо попередження аварій у стволах шахт, обладнаних механізованими підйомами, а також безпекові заходи загального характеру.

Ключові слова: безпека на гірничих роботах, виробничий травматизм, заходи протиаварійного захисту

Yezhov V.V., Riasnyi V.M., Yevstratenko I.A., Malanchuk Z.R., Chukharev S.M. Emergencies at mining enterprises in Ukraine

Purpose. Analyze the work of the military mining rescue/emergency rescue services for mining enterprises of the region in 2020. Identify the causes of accidents and hazards that occur in underground and surface mining.

Research methods. Statistical data on the reasons for arrival of services by type of accidents and hazards at the mining enterprises.

Scientific novelty. Measures developed to increase the fire protection of mining enterprises, prevent accidents and emergencies, and industrial injuries.

Practical significance. Using technological equipment in surface mining, the dominant accidents and hazards are fires. Resonant fires in the engine compartment of the excavator, at the drive station of the main conveyor lane of the mine, in the cab of the excavator driver, in the cable floor of the wet grinding section at the mining enterprises are analyzed. Beside this, the main factors of accidents at the mining enterprises were as follows: intra-mine and intra-quarry transport, mine rise, accidents during the planned production tasks.

Results. Based on the analysis of emergencies in underground and surface mining in 2020 related to the collapse of rocks in the operational workings the identified reasons were: violation of technology in the reinforcement of workings; incorrectly selected fastening parameters taking into account the physical and mechanical properties of the host rocks in the workings. Appropriate actions have thus been taken to increase fire protection of mining enterprises, to prevent accidents and emergencies from falling rocks, to prevent accidents and emergencies on intra-mine and intra-quarry technological transport, measures to prevent accidents in shafts of mines equipped with mechanized lifts, and general safety measures.

Key words: safety at mining works, industrial injuries, measures of accident protection

УДК 622.7: 534

Моркун В. С., Моркун Н. В., Тронь В. В., Сердюк О. Ю., Гапоненко А. А., Гапоненко І. А. Формування інформаційної бази для управління процесом осадження часток твердої фази рудної пульпи у дешламаторі

Мета. Розробка методів та засобів ультразвукових вимірювань характеристик процесу осадження частинок твердої фази пульпи та оцінка можливості їх застосування у системі автоматичного керування дешламатором для підвищення ефективності його роботи.

Методи дослідження. Для кількісного оцінювання мінеральних продуктів використано показник розподілу мінеральних часток по фракціях з різними фізичними властивостями, а також показник розподілу корисних компонентів. Зазначені показники дозволяють виконати кількісне оцінювання рудного матеріалу. Для кількісного оцінювання ефективності роботи технологічних апаратів використовуються сепараційні характеристики.

Наукова новизна. Пропонований метод формування керування процесом згущення заснований на оцінці зміни густини пульпи і гранулометричного складу її твердої фази в початковій стадії осадження у дешламаторі, що дозволяє спрогнозувати характеристики згущеного продукту і за рахунок цього врахувати велику інерційність системи. З цією метою вимірюються характеристики ультразвукових хвиль, що пройшли через контрольований об'єм пульпи, який осаджується у дешламаторі.

Практичне значення. Визначені параметри дозволяють підтримувати продуктивність процесу дешламації у відповідності до характеристик рудної суспензії мінімізуючи втрати корисного компонента. Завдяки отриманню оперативної інформації щодо характеристик процесу осадження часток твердої фази рудної суспензії вже на його початковій стадії вдається зменшити тривалість перехідних процесів у системі автоматичного керування.

Результати. Визначення вже на початковій стадії процесу осадження частинок подрібненої руди у дешламаторі таких показників, як динаміка зміни густини пульпи і гранулометричного складу її твердої фази дозволяє враховувати коливання параметрів технологічного потоку. Це досягається як за рахунок регулювання кількості флокулянту, так і швидкості відкачування продукту. Система автоматичного керування на основі отриманої інформації та сучасних програмно-технічних засобів дозволяє долати повільну динаміку відгуку на керуючі впливи та перехресні впливи керованих змінних. Для досягнення оптимальних показників процесів згущення-дешламації системи керування даними процесами мають бути сформовані як модулі ієрархічної структури управління всім технологічним процесом збагачення руди. Запропонований підхід дозволяє врахувати характер розподілу часток твердої фази рудного матеріалу у дешламаторі за крупністю, встановити характеристики вихідного продукту дешламатора. у відповідності до параметрів процесу осадження часток руди і за рахунок цього зменшити втрати корисного компонента на 0,6–0,7 %.

Ключові слова: дешламатор, ультразвук, автоматичне керування, моделювання, залізна руда, пульпа

Morkun V.S., Morkun N.V., Tron V.V., Serdiuk O. Yu. Haponenko A.A., Haponenko I.A. Development of an information base for controlling the process of deposition of solid phase particles of ore pulp in the thickener

Purpose. To develop methods of ultrasonic measurements of the characteristics of the process of deposition of solid phase particles of the pulp and evaluate the possibility of their use in the system of thickener automatic control to increase its efficiency.

Research methods. To quantify mineral products, the indicator of distribution of mineral particles by fractions with different physical properties as well as the indicator of distribution of useful components were used. These indicators allow for quantitative evaluation of ore material. Separation characteristics are used to quantify the efficiency of technological devices.

Scientific novelty. The proposed method of forming control of the thickening process is based on estimating the change in pulp density and particle size distribution of its solid phase in the initial stage of deposition in the thickener, which allows to predict the characteristics of the thickened product and thus take into account the high inertia of the system. For this purpose, the characteristics of ultrasonic waves that have passed through the controlled volume of the pulp, which is deposited in the thickener, are measured.

Practical significance. The defined parameters allow to maintain the productivity of the deslamination process in accordance with the characteristics of the ore suspension by minimizing the loss of useful component. Due to the receipt of operational information on the characteristics of the process of deposition of solid phase particles of ore suspension already at its initial stage it is possible to reduce the duration of transients in the automatic control system.

Results. Determination at the initial stage of the process of deposition of crushed ore particles in the thickener such indicators as the dynamics of changes in pulp density and particle size distribution of its solid phase allows to take into account fluctuations in process flow parameters. This is achieved both by adjusting the amount of flocculant and the pumping speed of the product. The system of automatic control based on the received information and modern software and hardware allows to overcome the slow dynamics of response to control influences and cross-influences of controlled variables. In order to achieve optimal indicators of thickening processes, the control systems of these processes should be formed as modules of the hierarchical structure of management of the whole technological process of ore beneficiation. The proposed approach allows take into account the nature of the distribution of solid phase particles of ore material in the thickener by size, to establish the characteristics of the source product of the thickener. In accordance with the parameters of the process of deposition of ore particles and thereby reduce the loss of useful component by 0.6-0.7%.

Key words: thickener, ultrasound, automatic control, modeling, iron ore, pulp

УДК 669.162.267.6

Воденнікова О.С., Воденнікова Л.В., Скідін І.Е., Саїтгарєєв Л.Н., Головков П.В. Позадоменна десульфуратія чавуну: вибір раціональної технології та аналітично-розрахункова обробка показників десульфуратії

Мета. Метою роботи є пошук раціональних шляхів зменшення вмісту сірки після позадоменної десульфуратії чавуну для отримання низькосірчастої сталі.

Поставлена мета в роботі вирішується наступними завданнями: проаналізувати сучасні технології позадоменної десульфуратії з застосуванням різних реагент-десульфураторів; визначити найбільш раціональні технології позадоменної десульфуратії чавуну, які дозволяють досягти ступеня десульфуратії чавуну до 80–99 % та вмісту сірки після десульфуратії чавуну до 0,003 %; на основі відомих експериментальних та розрахункових даних запропонувати аналітично-розрахункову обробку показників десульфуратії чавуну.

Методи досліджень. У роботі застосовувалися загальні (емпіричні, комплексні й теоретичні) та спеціальні (графічні та кореляційні) методи наукових пізнань. Так при узагальненні та аналізі науково-технічної літератури з аналізу сучасного досвіду технологій позадоменної десульфуратії чавуну використовувався комплексний підхід. Аналітично-розрахункова обробка відомих експериментальних (фактичних) та розрахункових даних залежності вмісту магнію в чавуні від вмісту сірки після десульфуратії чавуну проводилася кореляційно-регресійним методом в програмі Excel (з оцінкою коефіцієнту детермінації).

Наукова новизна. Показано вплив вмісту магнію в чавуні на вміст сірки після десульфуратії чавуну при застосуванні в якості реагент-десульфуратора гранульованого магнію, пасивованого магнію у шматках, порошкового магнієвого дроту, суміші гранульованого магнію та флюїдизованого вапна. Здобула подальший розвиток аналітично-розрахункова обробка відомих експериментальних (фактичних) та розрахункових даних з оцінкою коефіцієнту детермінації, що показує на можливості зменшення вмісту сірки після позадоменної десульфуратії чавуну до 0,003 %.

Практичне значення. Результати пошуку раціональних шляхів збільшення ступеня десульфурації чавуну для отримання низькосірчатої сталі можуть бути використані при викладанні спеціальних дисциплін для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 136 «Металургія» (наприклад, навчальної дисципліни «Фізико-хімічні процеси позаагрегатного рафінування металу»).

Результати. Проаналізовано технологічні аспекти застосування на металургійних підприємствах України та зарубіжжя сучасних технологій позадоменної десульфурації чавуну, які дозволяють досягти значень ступеня десульфурації чавуну в межах 80–99 % та вмісту сірки після десульфурації чавуну до 0,003 %.

Ключові слова: десульфурація чавуну, низькосірчата сталь, реагент-десульфуратор, ступінь десульфурації, вміст сірки

Vodennikova O.S., Vodennikova L.V., Skidin I.E., Saithareiev L.N., Golovkov P.V. Off-domain desulfurization of cast iron: choice of rational technology and analytical and computational processing of desulfurization indicators

Purpose. To find rational ways to reduce the sulfur content after off-domain desulfurization of cast iron to obtain low-sulfur steel.

The goal in the work is solved by the following tasks: to analyze modern technologies of extradomain desulfurization with the use of various desulfurizer reagents; to determine the most rational technologies of off-domain desulfurization of cast iron, which allow to achieve the degree of desulfurization of cast iron up to 80–99% and sulfur content after desulfurization of cast iron up to 0.003%; on the basis of known experimental and calculated data to offer analytical and calculation processing of indicators of pig iron desulfurization.

Research methods. General (empirical, complex and theoretical) and special (graphic and correlation) methods of scientific knowledge were used in the work. Thus, a comprehensive approach was used in the generalization and analysis of scientific and technical literature on the analysis of modern experience in extradomain iron desulfurization technologies. Analytical and calculation processing of known experimental (actual) and calculated data of the dependence of magnesium content in cast iron on sulfur content after desulfurization of cast iron was performed by correlation-regression method in Excel (with estimation of the coefficient of determination).

Scientific novelty. The interference of content in cast iron from sulfur content after pig iron desulfurization is shown when using granulated magnesium, passivated magnesium in pieces, magnesium flux cored wire, mixture of granulated magnesium and fluidized lime as desulfurizing reagent. Analytical and computational processing of known experimental (actual) and calculated data with estimation of the coefficient of determination has been further developed, which indicates the possibility of reducing the sulfur content after extradomain desulfurization of cast iron to 0.003%.

Practical significance. The results of the search for rational ways to increase the degree of desulfurization of cast iron to obtain low-sulfur steel can be used in teaching special disciplines for first (bachelor) students in specialty 136 «Metallurgy» (eg, discipline «Physical and chemical processes of non-aggregate metal refining»).

Results. Technological aspects of application of modern technologies of off-blast iron desulfurization at metallurgical enterprises of Ukraine and abroad are analyzed, which allow to achieve values of the degree of desulfurization of cast iron in the range of 80–99% and sulfur content after desulfurization of cast iron to 0.003%.

Key words: pig iron desulfurization, low sulfur steel, desulfurizer reagent, degree of desulfurization, sulfur content

УДК 621.34:621.51

Маринич І. А., Сердюк О. Ю. Модель системи автоматичного керування компресорною установкою з стабілізацією тиску у повітряній магістралі

Мета. Метою даної роботи є розробка математичної моделі компресорної установки, яка включає в себе основні елементи системи: компресор, електродвигун та ресивер, що забезпечує стабілізацію тиску у повітряній магістралі та зниження енергоспоживання.

Методи дослідження. У роботі використано методи теорії автоматичного керування для вибору і обґрунтування структури математичної моделі об'єкту керування, методи імітаційного і комп'ютерного моделювання, комп'ютерні інформаційні та програмні технології для підвищення якості керування об'єктом.

Наукова новизна. У роботі пропонується застосування допоміжних бібліотек MATLAB/Simulink, таких як SimPowerSystems та SimMechanics для побудови комбінованої моделі компресорної установки та створення на її основі системи візуалізації, яка дозволяє аналізувати різні режими роботи системи за допомогою зміни керуючих параметрів і графічного відображення результатів у режимі реального часу.

Практична значимість полягає у доцільності застосування пакету MATLAB/Simulink разом з бібліотекою SimPowerSystems для створення комбінованих моделей. Розроблена система керування та візуалізації дозволяє проводити моделювання різних режимів роботи системи шляхом зміни основних параметрів та одночасно візуально аналізувати отримані результати. Тому розроблена SCADA система може використовуватись при розробці та налаштуванні реальних систем.

Результати. На основі отриманих математичних моделей окремих складових, була складена загальна модель системи автоматичного керування компресорною установкою та промодельовано два режими роботи при прямому та плавному керуванні електродвигуном. Результати моделювання дозволили підтвердити припущення, що поступово збільшення тиску повітря після компресора відповідно до зростання тиску повітря у ресивері, то компресор не буде весь час працювати на максимальних обертах, а отже і не буде працювати на максимальній потужності і не буде витрачати зайву енергію. Тому можна зробити висновок що плавне управління оборотами електродвигуна можна застосовувати для зниження витрати електроенергії, що витрачається двигуном компресора, при цьому час досягнення потрібного рівня тиску в ресивері практично не змінюється.

Ключові слова: візуалізація, компресор, моделювання, ресивер, стабілізація, система керування, scada

Marunych I.A., Serdiuk O.Yu. Model of compressor unit automated control system, taking into account stabilization of pressure in air line

Purpose. Purpose of the work is to develop a compressor unit mathematical model, which includes system elements: compressor, electric motor and receiver, which stabilizes the pressure in the air line and reduces energy consumption.

Research methods. In the paper methods of automatic control theory to select and substantiate the structure of control object mathematical model, methods of simulation and computer modeling, computer information and software technologies to improve the quality of object control are used.

Scientific novelty. The paper proposes the use of auxiliary libraries MATLAB / Simulink, such as SimPowerSystems and SimMechanics to build a combined model of compressor installation and create a visualization system based on it, which allows you to analyze different system modes by changing control parameters and graphical display of results in real time.

Practical significance lies in the feasibility of using the MATLAB / Simulink package together with the SimPowerSystems library to create combined models. The developed control and visualization system allows modeling of different operating modes of the system by changing the main parameters and at the same time visually analyze the results. Therefore, the developed SCADA system can be used in the development and configuration of real systems.

Results. Based on the obtained individual components mathematical models, a general model of automatic control system of the compressor unit was compiled and two modes of operation with direct and smooth control of the electric motor were modeled. The simulation results confirmed the assumption that a gradual increase in air pressure after the compressor in accordance with the increase in air pressure in the receiver, the compressor will not work at maximum speed, and therefore will not work at maximum power and will not expend excess energy. Therefore, it can be concluded that the smooth motor speed control can be used to reduce the consumption of electricity consumed by compressor motor, while the time to achieve the desired pressure level in the receiver does not change.

Key words: visualization, compressor, modeling, receiver, control system, pressure stabilization, scada

УДК [37.016:622]51

Максимов І.І., Ковальчук Т.М., Ковальчук В.А. Особливості підготовки здобувачів спеціальності «Гірництво» через систему професійно-орієнтованих математичних задач

Мета. Нагальною проблемою підготовки сучасних здобувачів вищої освіти є слабкий зв'язок логіки засвоєння дисциплін загальної підготовки, зокрема вищої математики, з вимогами до засвоєння дисциплін професійної підготовки спеціальності «Гірництво». Виходячи з вищевикладеного, в статті поставлено мету щодо поєднання абстрактних математичних методів і професійно-орієнтованих задач для підвищення якості підготовки та формування спеціальних компетентностей здобувачів вищої освіти.

Методи. В статті використано загально-логічні та загальнонаукові методи досліджень. Зокрема, при побудові та аналізі графічних моделей застосовано методи формалізації, аналогії та верифікації абстрактних моделей кар'єра і конкретних результатів його функціонування. Методи моделювання, оптимізації та емпіричного дослідження використано при встановленні взаємозв'язків технологічних показників і параметрів роботи кар'єрів та знаходженні їх екстремальних значень. Окрім цього, при опрацюванні науково-методичної літератури використано методи аналізу і узагальнення.

Наукова новизна полягає в удосконаленні пропедевтичних методів підготовки здобувачів спеціальності «Гірництво», їх наступності з теоретичними засадами формування системного уявлення та світогляду при вирішенні наукових і виробничих завдань.

Практична значимість досліджень, що викладені в статті, полягає у створенні системи професійно-орієнтованих задач з курсу вищої математики, розв'язок яких змістовно поєднано із завданнями професійної підготовки гірників. Запропонована методика такого пропедевтичного підходу дає можливість більш усвідомлено підходити до вирішення формально-логічних задач з вищої математики і на виході забезпечує ефективні важелі і мотивацію для виконання кваліфікаційних робіт і фахового зростання.

Результати. Результати досліджень та практичні рекомендації формують у здобувачів цілісне уявлення про взаємозв'язок дисциплін циклу загальної і професійної підготовки, що суттєво впливає на якісне формування спеціальних компетентностей і не обмежується розглянутим розділом вищої математики і має перспективи поширення.

Ключові слова: гірництво, математична підготовка, система професійно-орієнтованих задач, вимоги, методика.

Maksimov I.I., Kovalchuk T.M., Kovalchuk V.A. Features of training candidates for the specialty "Mining" through the system of professionally oriented mathematical tasks

Purpose. The urgent problem of training modern candidates for higher education is the weak connection between the logic of mastering the disciplines of general training, in particular higher mathematics, with the requirements for mastering the disciplines of professional training in «Mining». Based on the above, the article aims to combine abstract mathematical methods and professionally oriented problems to improve the quality of training and the formation of special competencies of candidates for higher education.

Research methods. The article uses general logical and general scientific research methods. In particular, the methods of formalization, analogy and verification of abstract career models, and specific results of its operation were used in the construction and analysis of graphic models.

Scientific novelty lies in the improvement of propaedeutic methods of training candidates for the specialty "Mining", their continuity with the theoretical foundations of the formation of a systematic view and worldview in solving scientific and industrial tasks.

Practical significance. The practical value of the research presented in the article is to create a system of professionally oriented tasks in the course of higher mathematics, the solution, of which is meaningfully combined with the tasks of professional training of miners. The proposed method of such propaedeutic approach allows a more conscious approach to solving formal and logical tasks in higher mathematics and the output provides effective leverage and motivation to perform qualifying work and professional growth.

Results. The results of research and practical recommendations form a holistic view of the connection between the disciplines of the cycle of general and professional training, which significantly affects the quality of special competencies, and is not limited to considered section of higher mathematics and has prospects for distribution.

Key words: mining, mathematical training, system of professionally oriented tasks, requirements, methods.

УДК 621.181:62

Суртаєв В.В. Параметри роботи теплоутилізаційних установок, пристрою та системи утилізації теплоти парогазових викидів з тепловими насосами

Мета. Метою роботи є встановлення закономірностей процесу тепломасообміну в системах, пристроях та установках утилізації тепла з використанням теплонасосних установок (ТНУ), розробці ефективних рішень по їх використанню, в даному аспекті дослідження: проаналізовано стан питання енергозбереження вторинних енергоресурсів та їх ефективність використання, розвиток використання перспективного обладнання електро- і теплогенерації на низькокиплячих РТ.

Методи дослідження. Аналіз стану питання; математичне моделювання з визначенням обґрунтованих параметрів і дослідження енергетичної ефективності використання парогазових сумішей і можливостей генерації теплоти, електроенергії; визначення конструктивних параметрів і параметрів контактної тепломасообміну в контактному апараті на базі «форсунок камер» і їх впливу на ефективність роботи теплоутилізаційної системи, пристрою і установки з використанням, обладнання електро- і теплогенерації на низькокиплячих РТ.

Наукова новизна полягає в тому, що: аналізом і математичним моделюванням отримано графічну залежність між коефіцієнт трансформації теплового насосу 3,5-6,5 в діапазоні параметрів теплоносія – температура 5-30 (джерела вторинних енергоресурсів), стосовно до розроблених енергозберігаючих та екологічно безпечних технологій утилізації теплоти процесів мокрого гасіння коксу та мокрої грануляції металургійних шлаків та інших наявних джерел, у тому числі шахтних вод і т.п. що представлені в Україні в цілому та Криворізькому регіоні зокрема.

Практична значимість. Розробка рекомендацій по впровадженню ТНУ: перевірка і техніко-економічне обґрунтування систем, пристроїв та установок утилізації тепла теплоенергетичного і електро- і теплогенерації на низькокиплячих РТ; розробка рекомендацій по їх застосуванню.

Результати. Висвітлені в НДР на тему «Обґрунтування параметрів систем утилізації тепла теплоенергетичного обладнання» (номер державної реєстрації РК№ 0116U001825) і у науковій праці «Теплові насоси в промисловій і комунальній сферах України» (кер. Суртаєв В.В.). Представлені науково-практичні результати у вигляді графічної залежності для визначення коефіцієнта трансформації ТНУ в діапазоні параметрів теплоносія (джерела вторинних енергоресурсів).

Ключові слова: форсунокова камера, тепло - і масообмін, утилізація теплоти, обладнання, установка

Surtaiev V.V. Operation parameters of heat utilization installations, devices and systems of steam and gas emissions with heat pumps

Purpose. To establish the patterns of heat-mass exchange in systems, devices and heat recovery plants using heat pump units, to develop effective solutions for their use in this aspect of the study: analyzed the state of energy conservation and secondary efficiency electric and heat generation on low-boiling working substances.

Research methods. Analysis of the issue; mathematical modeling with the definition of reasonable parameters and the study of energy efficiency of steam and gas mixtures and the possibility of generating heat, electricity; determination of design parameters and parameters of contact heat-mass exchange in the contact device on the basis of "chamber with atomizers" and their influence on efficiency of work of heat utilization systems, devices and installations with use, the equipment of electric and heat generation on low boiling working substances.

Scientific novelty. analysis and mathematical modeling obtained a graphical relationship between the transformation coefficient of the heat pump 3.5-6.5 in the range of coolant parameters - temperature 5-30 (source of secondary energy resources), applied to the developed energy-saving and environmentally friendly safe technology of heat utilization of processes of wet quenching of coke and wet granulation of metallurgical slags and other available sources, including mine waters represented in Ukraine and Kryvyi Rih region.

Practical significance. Development of recommendations for the introduction of heat pump installations: inspection and feasibility study of systems, devices and installations for heat utilization of heat and power and electric and heat generation in low-boiling working substances; development of recommendations for their application.

Results. Covered in research on "Substantiation of parameters of heat utilization systems of heat power equipment" (state registration number RK№ 0116U001825) and in the scientific work "Heat pumps in the industrial and municipal spheres of Ukraine" (headed by VV Surtaev). The presented scientific and practical results in the form of a graphical dependence for determining the transformation coefficient of the heat pump installation in the range of coolant parameters (sources of secondary energy resources).

Key words: chamber with atomizers, heat-mass exchange, heat utilization, equipment, installation

УДК 338.322.01

Турило А.А., Ртищев С.А. Сутність категорії «економічний розвиток»

Мета. Розкриття сутності категорії «економічний розвиток» і визначення особливостей оцінки механізму економічного розвитку підприємств.

Методи дослідження. Авторами роботи представлено науково-логічний підхід щодо визначення сутності категорії «економічний розвиток».

Наукова новизна. Дослідження та оцінка економічного розвитку підприємства займає важливе місце серед питань сучасної економічної науки і практики. Незважаючи на великий інтерес до цього напрямку дослідження у вітчизняних та зарубіжних науковців, на даний момент багато питань залишаються дискусійними. Тому детальний аналіз та запропонована класифікація підприємства за видами економічного розвитку є актуальною. Усі типи економічного

розвитку тісно пов'язані між собою (як прямими так і зворотними зв'язками). Так економічний розвиток регіону або галузі залежить від рівня економічного розвитку підприємств, які розташовані на території даного регіону або відносяться до відповідної галузі. Сукупний економічний розвиток регіонів, так само як і економічний розвиток усіх галузей народного господарства, забезпечує економічний розвиток країни, який в свою чергу є внеском у загальний світовий економічний розвиток. Також існує і зворотній зв'язок між наведеними видами економічного розвитку.

Практична значимість. На підставі аналізу існуючих методів оцінки ефективності економічного розвитку різних видів підприємств, було розроблено уніфіковану класифікацію підприємств та запропоновано власну методику оцінки ефективності їх економічного розвитку. Кожен тип економічного розвитку характеризує направлену, закономірну зміну певного об'єкту і повинен мати власну систему показників та критеріїв, які б найбільш точно характеризували ефективність даного процесу. Зв'язок між ними такий, що в основі показників економічного розвитку країни, регіону або галузі повинні лежати показники економічного розвитку підприємства.

Найважливіша методологічна відмінність термінів «економічний розвиток підприємства», «економічний розвиток регіону», «економічний розвиток галузі» та «економічний розвиток країни» полягає в тому, що, якщо окреме підприємство може функціонувати зі збитком, може збанкрутувати і взагалі бути ліквідованим, то регіон, як сукупність усіх суб'єктів господарювання, зосереджених на певній території (а це не тільки підприємства) і тим паче країна, не можуть бути ліквідованими.

Результати. У даній статті досліджено сутність категорії «економічний розвиток» і розглянуто особливості економічного розвитку підприємств.

Ключові слова: економічний розвиток, ефективність, економічне зростання

Turylo A.A., Rtishchev S.A. Essence of the economic development category

Purpose. To disclose the essence of "economic development" and the definition of the features of the assessment of the mechanism of economic development of enterprises.

Research methods. The authors of the work presented a scientific and logical approach to defining the essence of the category "economic development".

Scientific novelty. Research and evaluation of the economic development of an enterprise occupies an important place among modern economic science and practice. Despite the great interest in this area of research among domestic and foreign scientists, at the moment, many issues remain controversial. Therefore, a detailed analysis and the proposed classification of an enterprise by types of economic development is relevant. All types of economic development are closely related to each other (both direct and feedback). So, the economic development of a region or industry depends on the level of economic development of enterprises located in the territory of a given region or related to the relevant industry. The aggregate economic development of the regions, as well as the economic development of all sectors of the national economy, ensures the economic development of the country, which in turn is a contribution to the overall world economic development. There is also an inverse relationship between the above types of economic development.

Practical significance. Based on the analysis of existing methods for assessing the effectiveness of the economic development of various types of enterprises, a unified classification of enterprises was developed and its own method for assessing the effectiveness of their economic development was proposed. Each type of economic development characterizes a directed, natural change in a certain object and must have its own system of indicators and criteria that most accurately characterize the effectiveness of this process. The connection between them is such that the indicators of economic development of a country, region or industry should be based on indicators of the economic development of an enterprise.

The most important methodological difference between the terms "economic development of an enterprise", "economic development of the region", "economic development of the industry" and "economic development of the country" is that if an individual enterprise can operate at a loss, can go bankrupt and be liquidated altogether, then the region, as a set of all economic entities concentrated on a certain territory (and these are not only enterprises), and even more so a country, cannot be liquidated.

Results. This article examines the essence of the category "economic development" and examines the features of the economic development of enterprises.

Key words: economic development, efficiency, economic growth.

УДК 004.78

Хруцький А.О., Горбачов Ю.Г., Громадський В.А., Громадський Вікт.А., Чумак Ю.І. Дослідження шляхів реалізації віртуального лабораторного практикуму при підготовці фахівців з галузевого машинобудування

Мета. Дослідження шляхів реалізації лабораторних занять у віртуальних освітніх середовищах для студентів технічних спеціальностей на основі узагальнення досвіду використання віртуальних лабораторних стендів, комплексів, наочних приладів та посібників, що максимально відтворюють обладнання галузі.

Методи дослідження. У роботі використано аналіз та узагальнення досвіду відомих досліджень та розробок з впровадження електронної форми навчання, зокрема реалізації віртуальних лабораторних робіт.

Наукова новизна. Розглянуто можливості застосування у навчальному процесі віртуальних лабораторних стендів, особливості їх реалізації, основні переваги та недоліки. Виокремлено наступні групи віртуальних стендів: для вивчення програмних продуктів; для вивчення конструкції реальних машин та їх вузлів; для дослідження окремих робочих процесів; симулятори роботи машин, обладнання та установок. Визначено сильні та слабкі сторони кожної групи стендів.

Практична новизна. Дано визначення віртуальної лабораторної роботи та наведено загальну схему її проведення. Встановлено, що визначені групи віртуальних стендів у тій чи іншій мірі можуть бути застосовані при навчанні інженерів-механіків з використанням сучасних освітніх веб-порталів для дистанційного навчання.

Результати. У результаті проведеного дослідження встановлено, що використання віртуальних лабораторних стендів при підготовці інженерів-механіків сприятиме зростанню ефективності освітнього процесу завдяки забезпеченню активізації отриманих знань при самостійному виконанні дослідження, підвищення їх мотивації та зацікавленості при засвоєнні нового матеріалу, набуття здобувачами навичок роботи з виробничим обладнанням при використанні

автоматизованого робочого місця оператора. Віртуальні стенди можуть бути з успіхом використані як для очної, так і для заочної форм навчання, зокрема і у дистанційному форматі. Надалі планується розробка методики створення віртуального лабораторного стенду для навчального компоненту на базі компетентностей та програмних результатів освітньої та робочої програм.

Ключові слова: лабораторні роботи, віртуальний лабораторний стенд, ефективність освітнього процесу, віртуальний тренажер, самостійне навчання, дистанційне навчання

Khrutskiy A.O., Gorbachov Yu.G., Gromadskiy V.A., Gromadskiy Vik.A., Chumak Yu.I. Research of virtual laboratory workshop implementation ways for training of specialists of industrial machinery engineering

Purpose. Research of laboratory employment realization ways in virtual educational environments for of technical specialties students on the general experience basis use of virtual laboratory stands, complexes, visual devices and the devices reproducing the equipment of the branch as much as possible.

Research methods. The analysis and generalization of known researches and developments experience on introduction of the electronic form of training, in particular realization of virtual laboratory works is used in the work.

Scientific novelty. Possibilities of virtual laboratory stands application in educational process, features of their realization, the basic advantages and lacks are considered. The following groups of virtual stands have been singled out: for software products studying; for the design of real machines and their components to studying; for individual work processes studying; simulators of machines, equipment and installations. The strengths and weaknesses of each group of stands have been identified.

Practical significance. The definition of virtual laboratory work is given and the general scheme of its carrying out is given. It has been established that certain groups of virtual stands can be used to one degree or another in the training of mechanical engineers using modern educational web portals for distance learning.

Results. As a result of the study it was found that the use of virtual laboratory stands in the training of mechanical engineers will increase the efficiency of the educational process by ensuring the activation of knowledge in independent research, increase their motivation and interest in learning new material. automated operator's workplace. Virtual stands can be successfully used for both full-time and part-time forms of education, including distance learning. In the future it is planned to develop a methodology for creating a virtual laboratory stand for the educational component based on the competencies and program results of educational and work programs.

Key words: laboratory work, virtual laboratory stand, efficiency of educational process, virtual simulator, independent learning, distance learning

УДК 338.26:621

Жуков С.О., Харін С.А., Папіж Ю.С., Юденко В.В., Коровіна О.В. Ресурсно-управлінський аспект декарбонізації енергетики як прогресуючий тренд світової економіки

Мета. Аналіз сучасного стану та перспектив впливу викидів CO₂ в атмосферу планети на прояв кліматичних явищ, аналіз динаміки світової електроенергетики та можливостей прийняття управлінських рішень з вибору оптимальних напрямків її розвитку в контексті декарбонізації.

Методи дослідження. У роботі використано комплексний підхід, методи аналізу і синтезу. Дослідження ґрунтується на офіційних відомостях світової економічної статистики, вивченні даних міжнародних інформаційних агентств та організацій.

Наукова новизна. На основі аналізу динаміки світової електроенергетики запропоновано матрицю аналізу різних видів електростанцій за групою критеріїв у контексті менеджменту декарбонізації.

Практичне значення. Матриця аналізу за групою критеріїв сприяє прийняттю управлінських рішень з розвитку певних видів підприємств електроенергетики у контексті менеджменту декарбонізації.

Результати. Аналіз глобальних екологічних викликів, які стали сьогодні реальністю та можливих шляхів розвитку світової електроенергетики в контексті декарбонізації дозволив встановити наступне. Температура атмосфери планети зростає сьогодні і зростатиме надалі з неминучістю у зв'язку з неможливістю не тільки скорочення існуючого рівня викидів вуглекислого газу, а й навіть збереження такого рівня викидів, який є нині. Разом з тим людство все далі більш чітко усвідомлює наростаючу небезпеку і шукає способи боротьби з нею. Найбільш гострою проблемою енергетики є одержання первинної електричної енергії, у контексті декарбонізації – одержання такої енергії без викиду вуглекислого газу або з мінімально можливим викидом. В даний час отримання кількості енергії, що повністю задовольняє потребам людства, тільки екологічними способами поки не є можливим. Дослідження світового досвіду формування перспектив електроенергетики показав необхідність активного розвитку, як кількісного, так й ефективності вітрових, сонячних електростанцій, сьогодні і в тривалій перспективі. На основі вивчення динаміки світової електроенергетики запропоновано матрицю аналізу різних видів електростанцій за групою критеріїв у контексті менеджменту декарбонізації.

Ключові слова: менеджмент, кліматичні зміни, Конференція ООН зі зміни клімату 2021 р., декарбонізація, енергетика, матриця аналізу.

Zhukov S.O., Kharin S.A., Papizh Yu.S., Yudenko V.V., Korovina O.V. The resource-management aspect of the decarbonization of the energy sector as a progressive trend in the world economy

Purpose. Analysis of the current state and prospects of the impact of CO₂ emissions into the planet's atmosphere on the manifestation of climatic phenomena, analysis of the dynamics of global electricity and opportunities for management decisions to choose the optimal directions of its development in the context of decarbonization.

Research methods. The paper uses a comprehensive approach, methods of analysis and synthesis. The study is based on official data from world economic statistics, a study of data from international news agencies and organizations.

Scientific novelty. Based on the analysis of the dynamics of world electricity, a matrix of analysis of different types of power plants by a group of criteria in the context of decarbonization management is proposed.

Practical significance. The matrix of analysis by a group of criteria facilitates management decisions on the development of certain types of electricity companies in the context of decarbonization management.

Results. Analysis of global environmental challenges that have become a reality today and possible ways to develop global electricity in the context of decarbonization has revealed the following. The temperature of the planet's atmosphere is rising today and will continue to rise inevitably due to the impossibility not only to reduce the existing level of carbon emissions, but also to maintain the current level of emissions. At the same time, humanity is becoming more and more aware of the growing danger and is looking for ways to combat it. The most acute problem of energy is the production of primary electricity, in the context of decarbonization - the production of such energy without carbon dioxide emissions or with the minimum possible emissions. At present, obtaining an amount of energy that fully meets the needs of mankind, only in environmental ways is not yet possible. The study of world experience in shaping the prospects of electricity has shown the need for active development, both quantitative and efficiency of wind and solar power plants, today and in the long run. Based on the study of the dynamics of world electricity, a matrix of analysis of different types of power plants by a group of criteria in the context of decarbonization management is proposed.

Key words: management, climate change, UN Climate Change Conference 2021, decarbonization, energy, analysis matrix.

УДК 622.271

Pakhomov V.I., Hirin I.V., Monastyrskyi Yu.A., Tyshchenko V.Yu. Rational profile for career roads

Purpose. To develop the method for optimizing the longitudinal road profiles of deep horizons through the scientific and technical solutions for the design and practical use of effective trucking systems in opencast mining.

Research methods. Mathematical statistics, axiomatic and hypothetical methods, program-target method, generalization of experience of domestic quarries with the use of statistical data on production and operational characteristics of motor transport equipment, system analysis and simulation using information computer technologies; technical and economic calculations to substantiate effective technical and organizational solutions, mathematical modeling, technical and economic analysis, regression analysis in the study of the influence of the parameters of the road profile on the speed of dump trucks.

Scientific novelty. The experimental-analytical methods for assessing mining and road conditions of technological vehicles based on a comprehensive accounting of physical criteria - loading mode of units of the dump truck, its speed depending on the applied configuration along the longitudinal profile; methods for assessing road operating conditions, the calculation of rational structures of road profiles used to power heavy-duty dump trucks is a contribution to the theory of transport systems formation in quarries.

Practical significance. Boosting operation of motor transport equipment by increasing the average speed of heavy-duty dump trucks through the use of guidelines for optimizing the longitudinal profile of roads and intensifying of opencast mining.

Results. The research results allow to increase the scientific validity and accuracy of operational indicators of quarry vehicles by considering the comprehensive mining and road operating conditions; reduce the cost of transporting rock mass by optimizing the longitudinal profile of roads and achieve an increase in the speed of loaded dump trucks.

Key words: quarry roads, heavy dump trucks, longitudinal profile

Пахомов В.І., Гірін І.В., Монастирський Ю.А., Тищенко В.Ю. Обґрунтування раціонального профілю кар'єрних автодоріг

Мета роботи полягає в розробці методики оптимізації поздовжнього профілю автодоріг на глибоких горизонтах на основі обґрунтування науково-технічних і технологічних рішень щодо створення та застосування ефективних систем вантажоперевезень на відкритих гірничих риботах

Методи дослідження: математична статистика, аксіоматичний та гіпотетичний методи, програмно-цільовий метод, узагальнення досвіду роботи вітчизняних кар'єрів з використанням значного обсягу статистичної інформації про виробничі та експлуатаційні характеристики автотранспортного обладнання, системний аналіз та імітаційне моделювання з використанням інформаційних комп'ютерних технологій; техніко-економічні розрахунки для обґрунтування ефективних технічних і організаційних рішень, математичне моделювання, техніко-економічний аналіз, регресійний аналіз при дослідженні впливу параметрів профілю автодороги на швидкість руху самоскидів

Наукова новизна полягає в розробці експериментально-аналітичної методики оцінки гірничотехнічних і дорожніх умов експлуатації технологічного автотранспорту, заснованої на комплексному обліку фізичних критеріїв - навантажувальному режиму роботи вузлів і агрегатів автомобіля-самоскида та швидкості його руху в залежності від застосованої конфігурації поздовжнього профілю автодороги; в розробці методик оцінки дорожніх умов експлуатації, розрахунку раціональних конструкцій дорожніх профілів, які забезпечують підвищення ефективності експлуатації автосамоскидів великої вантажності, що є внеском в теорію формування транспортних систем кар'єрів.

Практична значимість роботи полягає в підвищенні ефективності експлуатації автотранспортного обладнання за рахунок підвищення середньої швидкості руху великовантажних самоскидів завдяки використанню розроблених методичних принципів оптимізації поздовжнього профілю автомобільних доріг, а також сприяє інтенсифікації відробки покладів корисних копалин відкритим способом

Результати. Використання результатів дослідження дозволяє: підвищити наукову обґрунтованість і точність планування експлуатаційних показників технологічного кар'єрного автотранспорту за рахунок комплексного врахування гірничотехнічних і дорожніх умов експлуатації; скоротити витрати на транспортування гірської маси за рахунок оптимізації поздовжнього профілю автодоріг, що дозволить досягти підвищення швидкості руху навантажених автомобілів-самоскидів

Ключові слова: кар'єрні автодороги, великовантажні автосамоскиди, поздовжній профіль.

УДК 621.515.1

Заміцький О.В., Гльченко О.В. Дослідження сучасних методів охолодження стисненого повітря в турбокомпресорах

Мета роботи. Визначення та обґрунтування ефективної системи охолодження стисненого повітря в турбокомпресорах.

Методи дослідження. У роботі використані теоретичні методи дослідження (аналіз, синтез, абстрагування, узагальнення).

Наукова новизна. Отримали подальший розвиток закономірності процесів, які протікають при контактному охолодженні стисненого повітря в турбокомпресорах.

Практичне значення. Пневматична енергія широко застосовується в багатьох галузях промисловості. Поряд з паром, електрикою, механічною і гідравлічною енергією стиснене повітря використовується для автоматизації і механізації різних виробничих процесів. Для виробництва стисненого повітря у промислових масштабах використовують в основному турбокомпресори. Обов'язковою умовою нормальної експлуатації турбокомпресорів є охолодження стисненого повітря, цим досягається істотне зменшення необхідної потужності. Частіше всього використовують кожухотрубні теплообмінники, але в процесі експлуатації відбувається погіршення ефективності через забруднення теплообмінних поверхонь. Перспективними охолоджувачами є контактні теплообмінники. Розроблено рекомендації щодо промислового використання контактної системи охолодження з режимом охолодження та осушення стисненого повітря, принцип роботи якої полягає у безпосередньому контакті стисненого повітря та охолоджуючої води. Вода впорскується в повітропровід компресора після кожної секції стиснення і тим самим охолоджує повітря. Відділення води відбувається у спеціальних краплеуловлювачах, які встановлені перед наступною секцією. Вода при такому способі охолодження може бути нагріта лише до температури мокрого термометра за умов (температури, тиску і вологості повітря). Основною перевагою цього способу є висока інтенсивність теплообміну через відсутність розділюючих поверхонь схильних до забруднення накипом. Недолік – дещо ускладнена, порівняно із традиційною, схема водопостачання.

Результати. В результаті аналізу літературних джерел встановлено, що перспективним апаратом контактного охолодження стисненого повітря в турбокомпресорах є труба Вентурі – відцентровий сепаратор, так як поєднує в собі високий тепломасообмін і відносно невеликий гідравлічний опір. Але раціональні параметри контактних повітроохолоджувачів визначено тільки для номінального режиму роботи турбокомпресора при нормальних початкових умовах, тому необхідні додаткові дослідження для встановлення раціональних параметрів контактних повітроохолоджувачів при режимах відмінних від номінальних.

Ключові слова: стиснене повітря, турбокомпресор, система охолодження, контактний повітроохолоджувач, труба Вентурі, газ, рідина.

Zamytskiy O.V., Ilchenko O.V. Research of modern methods of compressed air cooling in turbochargers

Purpose. Determination and substantiation of an efficient compressed air cooling system in turbochargers.

Research methods. Theoretical research methods (analysis, synthesis, abstraction, generalization) are used in the work.

Scientific novelty. The regularities of the processes that take place during contact cooling of compressed air in turbochargers have been further developed.

Practical significance. Pneumatic energy is widely used in many industries. Along with steam, electricity, mechanical and hydraulic energy, compressed air is used to automate and mechanize various production processes. Turbochargers are mainly used for the production of compressed air on an industrial scale. A prerequisite for the normal operation of turbochargers is the cooling of compressed air, which significantly reduces the required power. Shell and tube heat exchangers are most often used, but in the process of operation there is a deterioration in efficiency due to contamination of heat exchange surfaces. Contact heat exchangers are promising coolers. Recommendations for the industrial use of contact cooling system with cooling and dehumidification of compressed air, the principle of which is the direct contact of compressed air and cooling water. Water is injected into the air duct of the compressor after each compression section and thus cools the air. The separation of water takes place in special drop catchers, which are installed before the next section. Water with this method of cooling can be heated only to the temperature of a wet bulb thermometer under conditions (temperature, pressure and humidity). The main advantage of this method is the high intensity of heat transfer due to the lack of separating surfaces prone to scale contamination. The disadvantage is a somewhat complicated, compared to the traditional, water supply scheme.

Results. As a result of the analysis of literature sources it is established that a promising apparatus for contact cooling of compressed air in turbochargers is a Venturi tube - a centrifugal separator, as it combines high heat and mass transfer and relatively low hydraulic resistance. But the rational parameters of contact air coolers are determined only for the nominal mode of operation of the turbocharger under normal initial conditions, so additional research is needed to establish rational parameters of contact air coolers in different modes than nominal.

Key words: compressed air, turbocharger, cooling system, contact air cooler, Venturi pipe, gas, liquid.

УДК 004.056.53

Karabut N.O., Rybalchenko O.H., Dotsenko I.O. Protection technology of data processed in distributed information systems

Purpose. To solve the problem of protecting information from unauthorized access in any information system which is based on control and delimitation of access rights of subjects to protected objects, primarily to file objects designed to store processed data.

Research methods. The implementing access control is to use one of the abstract models like discretionary, mandated and role-based access control.

Scientific novelty. An innovative approach to protecting data processed in distributed information systems through the methods of access control to the objects being created – to the file objects and to the clipboard. Those allow to exclude the access object from the delimiting policies because of automatic markup of created objects.

Practical significance. Practical implementation of this approach, provided that the markup (created attributes) directly in the created file allows to identify and solve the problem of implementing the delimiting policy of access to data processed in a distributed information system by considering different ways of data exchange between components of a similar system. This implements data flow management within the system.

Results. The considered data protection technology in the information system based on the use of access control methods allows: to get a new property of delimiting access policy in a distributed information system by using different methods of data exchange between components/computers; to increase the efficiency of the information security system by managing data flows in the system.

Key words: distributed information system, data protection, unauthorized access, control and delimitation of access rights, delimiting policy, object created, data flow management.

Карабут Н.О., Рибальченко О.Г., Доценко І.О. Технологія захисту даних, що обробляються у розподілених інформаційних системах

Мета. Вирішення завдання захисту інформації від несанкціонованого доступу в будь-якій інформаційній системі засноване на реалізації контролю та розмежуванні прав доступу суб'єктів до об'єктів, що захищаються (далі - контролю доступу), насамперед до файлових об'єктів, оскільки саме вони призначені для зберігання даних що обробляються.

Методи. Реалізація контролю доступу полягає в використанні однієї з відповідних абстрактних моделей [1, 2]. Найбільш широко сьогодні використовуються моделі дискреційного, мандатного та рольового контролю доступу.

Наукова новизна. Розглянуто новий підхід до захисту даних, що обробляються у розподілених інформаційних системах, заснований на реалізації методів контролю доступу до об'єктів, що створюються - до файлових об'єктів і до буфера обміну, що дозволяють виключити об'єкт доступу з розмежувальної політики за рахунок автоматичної розмітки створюваних об'єктів.

Практична значимість. Практична реалізація даного підходу за умови збереження розмітки (створюваних атрибутів) безпосередньо у створюваному файлі дозволяє сформулювати та вирішити задачу реалізації розмежувальної політики доступу до даних, що обробляються в розподіленій інформаційній системі, з урахуванням різних можливих способів обміну даними між компонентами (комп'ютерами) подібної системи. У цьому реалізується управління потоками даних вже у межах системи загалом.

Результати. Розглянута технологія захисту даних в інформаційній системі, заснована на застосуванні методів контролю доступу, що реалізують автоматичну розмітку об'єктів, що створюються, дозволяє отримати принципово нову властивість розмежувальної політики доступу в розподіленій інформаційній системі, причому з використанням різних способів обміну даними між компонентами (комп'ютерами) системи, а також кардинально підвищити ефективність системи захисту інформації за рахунок реалізації можливості керування потоками даних у системі загалом.

Ключові слова: розподілена інформаційна система, захист даних, несанкціонований доступ, контроль та розмежування прав доступу, розмежувальна політика, об'єкт, що створюється, управління потоками

УДК 621.311.4.031

Сінчук О.М., Купін А.І., Сінчук І.О., Барановська М.Л., Будніков К.І. До розробки алгоритму енергоефективного керування електроенергетичним комплексом з розділеною генерацією електричної енергії в умовах залізрудних шахт

Мета. Розробка логістики формування економіки «дорожньої карти» підвищення електроенергоефективності видобутку залізрудної сировини гірничорудними підприємствами шляхом застосування автоматизованих керованих електроенергетичних комплексів на основі систем електропостачання з розподіленою генерацією електричної енергії.

Методи дослідження. В науковій статті використовуються аналітичні та експериментальні методи досліджень: аналітичні методи включають теорію ймовірності та математичну статистику, математичне моделювання; експериментальні методи – теорію планування та проведення експерименту.

Наукова новизна. Розробка автоматизованої системи керування (АСК) енергопотоків залізрудних шахт, яка керує (розподіляє) потоки електричної енергії між споживачами в годинах доби не порушуючи технології функціонування підприємства (варіант «споживач-регулятор» електричної енергії) та визначає й регулює режим живлення споживачів в відповідні періоди часу (варіант «споживач-генератор» електричної енергії).

Практична значимість. В собівартості видобутку залізрудної сировини енергетична складова сягає 30 % та має тенденцією до постійного зростання. Тому актуальними питаннями є шляхи підвищення енергоефективності роботи залізрудних шахт як складової гірничо-металургійної галузі України.

Результати. Дослідження авторів дозволило розробити логістику формування економіки «дорожньої карти» підвищення електроенергоефективності видобутку залізрудної сировини шахти шляхом застосування автоматизованих керованих електроенергетичних комплексів на основі систем електропостачання з розподіленою генерацією електричної енергії. Розглянуто питання реалізації автоматизованого керування електричною мережею з можливістю розподіленою генерацією електричної енергії.

Використання двоставкового тарифу без застосування нечітких автоматизованих систем керування веде до збільшення добових витрат на спожити електричну енергію при одноканальному регулюванні (водовідведення) та двоканальному керуванні (рудопотік та водовідведення) на 12,88 % та 7,1 % відповідно. Застосування нечітких регуляторів дозволяє компенсувати ці втрати. Застосування автоматизованої системи керування з нечітким триканальним регулюванням (рудопотік, водовідведення та вентиляція) дозволяє скоротити витрати на спожити електричну енергію на 4,45 % (за даними шахти «Родіна», м. Кривий Ріг).

Моделювання роботи нечіткої автоматизованої системи керування в режимах додаткової гідроакмулюючої генерації електричної енергії показало потенційні можливості для зниження загального енергоспоживання на 15-35% (за двоставковим тарифом) в умовах залізрудних шахт.

Ключові слова: залізрудна шахта, електроенергетичний комплекс, автоматизована система керування, багатоканальне керування, гідроакмулюючі генерації.

Sinchuk O.M., Kupin A.I., Sinchuk I.O., Baranovska M.L., Budnikov K.I. Developing the energy-efficient control algorithm for distributed power generation at iron ore underground mines

Purpose. The purpose of the research consists in developing logistics to form the economy of the road map of increasing energy efficiency of mining iron ore raw materials through applying automated control power complexes based on power supply systems with distributed power generation.

Research methods. The scientific article uses analytical and experimental research methods, namely, analytical methods of the probability theory and mathematical statistics; experimental methods – the theory experiment planning and conducting, mathematical modelling.

Scientific novelty. The research deals with developing an automated control system (ACS) of power flows at iron ore underground mines which controls (distributes) power flows among consumers on an hourly basis without violating the technology of enterprise functioning (the option "power consumer-regulator"), determines and regulates the mode of power supply in appropriate periods of time (option "power consumer-generator").

Practical significance. In the cost of iron ore production, the energy component reaches 30% and tends to grow constantly. Therefore, methods of improving energy efficiency of iron ore underground mines as a component of the mining and metallurgical industry of Ukraine are urgent issues to be focused upon.

Results. The research enables developing logistics of forming the economy of the road map aimed at increasing energy efficiency of mining iron ore raw materials by applying automated controlled power complexes based on power supply systems with distributed power generation. The issue of implementing automated control of the power grid with potential distributed generation of power is considered.

The use of a two-rate tariff without fuzzy automated control systems causes an increase in daily costs for consumed power with single-channel (drainage) and two-channel (ore flow and drainage) control by 12.88% and 7.1% respectively. The use of fuzzy controllers enables compensation of these losses. Application of an automated control system with fuzzy three-channel control (ore flow, drainage and ventilation) reduces the cost of power consumed by 4.45% (according to the data on Rodina mine, Kryvyi Rih).

Modelling the fuzzy automated control system in modes of additional pumped storage power generation reveals potential opportunities for reducing total power consumption by 15%-35% (at the two-rate tariff) at iron ore underground mines.

Key words: iron ore underground mine, power complex, automated control system, multichannel control, pumped storage power generation

УДК 622.794.4:621.3.025

Замицький О.В., Крадожон С.О. Методика розрахунку конструктивних та технологічних параметрів установки для комбінованої сушки продуктів збагачення прямим впливом змінного електричного струму

Мета. Метою даної роботи є розробка рекомендацій по промислового використанню методу сушки тонкодисперсних продуктів збагачення.

Методи дослідження. У роботі використані методи математичного моделювання та математичної статистики при перевірці результатів теоретичних розрахунків, отриманих для визначення параметрів установки для комбінованої сушки тонкодисперсних матеріалів прямим впливом змінного електричного струму.

Наукова новизна. Вперше розроблений метод розрахунку конструктивних та технологічних параметрів сушильної установки тонкодисперсних продуктів збагачення пропусканням змінного електричного струму.

Практична значимість. При мокрих процесах збагачення корисних копалин виникає необхідність зневоднення тонкодисперсних продуктів (концентратів, хвостів, шламів). При цьому існуючі методи зневоднення не завжди можуть забезпечити необхідну кінцеву вологість таких продуктів, або мають високі енергетичні затрати і шкідливі для екології, як наприклад термічна сушка. Існують проблеми, пов'язані з будовою парового середовища осадів, так як дослідження його являє собою складну задачу. Найбільші труднощі виникають при сушці шламових осадів, які мають високорозвинену поверхню частинок, і обумовлені наявністю капілярних явищ, а також особливими властивостями рідини в тонких каналах. Це спонукає до розробки нових ефективних методів зневоднення тонкодисперсних продуктів збагачення. Одним з таких методів є комбінований спосіб сушки прямим впливом змінного електричного струму. Але до цього часу не була розроблена методика розрахунку конструктивних та технологічних параметрів для проектування установки, яка реалізує цей спосіб. Тому розробка методики розрахунку установки для комбінованої сушки прямим впливом змінного електричного струму, яка дозволяє забезпечити раціональні параметри зневоднення тонкодисперсних матеріалів має високу практичну значимість.

Результати. Розроблена методика для розрахунку конструктивних та технологічних параметрів сушильної установки для зневоднення продуктів збагачення внутрішніми джерелами теплоти в умовах електричного нагріву комбінованим способом. Це дозволяє визначити раціональні параметри сушильної установки для забезпечення найкращих показників енергоефективності та екологічності.

Ключові слова: сушильні установки, енергоефективність, тонкодисперсні матеріали, методика

Zamytskiy O.V., Kradozhon S.O. Method of calculation constructive and technological parameters of installation for combined drying of enriched products by variable direct influence

Purpose. To develop a recommendation for the industrial use of the method of drying fine enrichment products.

Research methods. The methods of mathematical modeling and mathematical statistics are used in the verification of the results of theoretical calculations obtained to determine the parameters of the installation for combined drying of fine materials by direct influence of alternating electric current.

Scientific novelty. For the first time the method of calculation of constructive and technological parameters of drying installation fine enrichment products by passing of alternating electric current is developed.

Practical significance. At wet processes of enrichment minerals there is a necessity of dehydration fine products (concentrates, tails, slimes). However, existing methods of dehydration may not always provide the required final moisture content of such products, or have high energy costs and are harmful to the environment, such as thermal drying. There are problems with the structure of the vapor environment of sediments, as its study is a difficult task. The greatest difficulties arise when drying sludge, which has a highly developed surface of particles, and due to the presence of capillary phenomena, as well as

the special properties of the liquid in thin channels. This encourages the development of new effective methods of dehydration fine enrichment products. One such method is a combined method of drying by direct exposure to alternating electric current. But so far no method has been developed to calculate the design and technological parameters for the design of the installation that implements this method. Therefore, the development of methods for calculating the installation for combined drying by direct exposure to alternating electric current, which allows to provide rational parameters for dehydration of fine materials is of high practical importance.

Results. A technique has been developed for calculating the design and technological parameters of a drying plant for dehydration of enrichment products by internal heat sources under conditions of electric heating in a combined way. This allows to determine the rational parameters of the dryer to ensure the best performance energy saving, environmental friendliness and energy consumption.

Key words: drying installations, energy efficiency, fine materials, methods

УДК 622.235:622.271

Малих Д.Ю., Титов Д.А., Єременко Г.І. Енергетично-конструктивна аналітика адаптації мереж свердловинних зарядів до підривання масивів складної структури

Мета. Основною метою досліджень є визначення максимально можливої адаптації свердловинних зарядів ВВ до особливостей будови масивів гірських порід для більш ефективного руйнування шляхом розосередження частин заряду вздовж свердловини та забезпечення кумулятивної дії цих частин.

Методи дослідження полягають в аналізі геологічних даних про залізородні родовища Кривбасу, проектною документації, виробничих даних гірничодобувних підприємств, наукових теорій та публікацій з подальшим їх узагальненням і формулюванням розроблених положень. Оригінальність полягає у застосуванні комплексного підходу щодо вирішення поставленої проблеми та ряду власних технічних рішень.

Наукова новизна полягає у дослідженні впливу зміни конструкції і параметрів розосереджених свердловинних зарядів ВР на інтенсивність руйнування розташованих нижче породних масивів.

Практична значимість роботи полягає в розробці нових конструкцій свердловинних зарядів і методики визначення їх параметрів та застосування.

Результати. Було здійснено дослідження взаємозв'язку геолого-технологічних умов і динамічних процесів, в яких здійснюється вибухове руйнування кристалічних порід за допомогою взаємодіючих свердловинних зарядів, конструкції яких розроблені авторами. Це дало змогу встановити раціональні режими розподілу енергії вибуху в скельному масиві при формуванні свердловинних зарядів з використанням коефіцієнта $m = 0,025f$ лінійної диференціації їх частин, що зменшує зону хаотичних штучних структурних порушень нижнього уступу під дією вибуху, яка переважно є нерегульованою. Розроблений метод відрізняється від відомих насамперед тим, що окремі частини зарядів формуються з кумулятивними радіальними елементами. Таким чином максимальна адаптація зарядів до особливостей структурно-міцнісних характеристик масиву по висоті уступу досягається за рахунок розосередження частин заряду, а азимутальна – орієнтацією кумулятивних векторів останніх. Подальша розробка та виробниче застосування результатів досліджень забезпечить значне зниження собівартості залізородної продукції за рахунок підвищення ефективності буропідривних робіт в кар'єрі.

Ключові слова: руда, вибухове руйнування, кар'єр, буропідривні роботи, свердловинні заряди.

Malykh D.Yu., Titov D.A., Yeremenko G.I. Energy-constructive analysis of adaptation of borehole charges to blasting of complex structure arrays.

Purpose. To determine the maximum possible adaptation of borehole charges of explosives to the structural features of rock massifs for more effective destruction by dispersing parts of the charge along the borehole and ensuring the cumulative effect of these parts.

Research methods are to analyze of geological data on the iron-ore deposits of Kryvbass, project documentation, technological data of the mining enterprises and open pits, scientific publications and their subsequent synthesis and formulation of the developed provisions. Originality lies in the application of a comprehensive approach to solving the problem and a number of their own technical solutions.

Scientific novelty lies in research of the influence of changes in the design and parameters of dispersed borehole charges on the intensity of destruction of the lower rock massifs.

Practical significance is to develop new designs of borehole charges and methods for determining their parameters and applications.

Results. A study of the relationship between geological and technological conditions and dynamic processes in which the explosive destruction of crystalline rocks by interacting borehole charges, the designs of which were developed by the authors. This made it possible to establish rational modes of explosion energy distribution in the rock mass during the formation of borehole charges by using the coefficient $m = 0.025f$ linear differentiation of their parts, which reduces the area of chaotic artificial structural breaches of the lower ledge under the action of explosion, which is mostly unregulated. The developed method differs from the known ones primarily in that individual parts of the charges are formed with cumulative radial elements. Thus, the maximum adaptation of charges to the features of structural and strength characteristics of the rock mass on the height of the ledge is achieved by dispersing parts of the charge, and azimuthal - the orientation of the cumulative vectors of the latter. Further development and production application of research results will significantly reduce the cost of iron ore products by increasing the efficiency of blasting operations in the open-pit.

Key words: ore, explosive destruction, open pit, blasting, borehole charges

УДК 622.647.21

Єфіменко Л.І., Тиханський М.П., Тиханська А.М. Адаптивні системи керування швидкістю стрічкового конвеєра за критерієм зниження металоємності опорних конструкцій

Мета. Дослідження навантаження на конструкції конвеєра в екстремальних ситуаціях з метою зниження їх дії, зменшення енерговитрат та металоємності опорних конструкцій за рахунок впровадження адаптивної системи керування швидкістю стрічкового конвеєра.

Методи дослідження. Методи, які використовуються у дослідженні, розроблені в теорії автоматичного керування, обробки випадкових процесів. Також використано наукове узагальнення раніше виконаних досліджень при аналізі літературних і патентних джерел.

Наукова новизна. Пропонується адаптивне керування швидкістю стрічкового конвеєра з врахуванням зміни навантаження на опорні конструкції конвеєра, що проявляється у випадку транспортування вантажопотоку з великими шматками гірничої маси (до 500 мм). Підвищення економічної ефективності досягається за рахунок зменшення енергоспоживання та навантаження на опорні конструкції, що дозволяє знизити їх металоємність.

Керування відбувається за рахунок узгодження режимів транспортування та фактичного вантажопотоку при відсутності повної апріорної (такої, що відома наперед) інформації про гранулометричний склад потоку сировини, зовнішні збурення і граничні умови, тобто адаптивній системі притаманна невизначеність.

Практична значимість. Сучасні конвеєрні лінії мають велику протяжність, тому зменшення навантаження на опорні конструкції дозволяє знизити їх металоємність на 25 – 30%. Вдосконалення експлуатації довгих конвеєрів потребує розробки систем, що оптимізують режим їх роботи за критерієм мінімуму навантаження на опорні конструкції при транспортуванні корисних копалин.

Адаптивне керування стрічковим конвеєром за рахунок регулювання швидкості робочого органу конвеєра з врахуванням параметрів, які постійно змінюються, дозволяє підвищити ефективність роботи виробництва та зменшити металоємність.

Авторами запропоновані принципи побудови автоматизованої системи конвеєра, що відрізняються тим, що враховуються як поточний, так і прогнозований стан вантажопотоку. Своєчасне виявлення зміни гранскладу вантажопотоку дозволяє швидко реагувати на нову інформацію та корегувати управляючі впливи шляхом впровадження адаптивного регулятора.

Результати. Запропоновано впровадження адаптивних системи керування швидкістю стрічкового конвеєра за критерієм зниження металоємності опорних конструкцій, що дозволяють враховувати збурюючі впливи на опори зумовлені зміною складу вантажопотоку, це зменшує навантаження на них та дозволяє зменшити металоємність.

Ключові слова: адаптивне керування, стрічковий конвеєр, металоємність, вантажопотік, динамічне навантаження, автоматична система керування

Yefymenko L.I., Tykhanskiy M.P., Tykhanska A.M. Adaptive belt conveyor speed control systems according to the criterion of reducing metal consumption of supporting structures

Purpose. Investigation of the load on the conveyor structures in extreme situations in order to reduce their action, reduce energy consumption and metal consumption of supporting structures through the introduction of an adaptive speed control system of the belt conveyor.

Research methods. The methods used in the study are developed in the theory of automatic control, processing of random processes. The scientific generalization of previously performed research in the analysis of literature and patent sources is also used.

Scientific novelty. Adaptive speed control of the belt conveyor is offered taking into account the change of load on the supporting structures of the conveyor, which is manifested in the case of transportation of cargo with large pieces of rock mass (up to 500 mm). Improving economic efficiency is achieved by reducing energy consumption and load on supporting structures, which reduces their metal content.

Management is due to the coordination of modes of transportation and actual freight flow in the absence of complete a priori (such as known in advance) information about the particle size distribution of raw materials, external perturbations and boundary conditions, ie adaptive system is uncertain.

Practical significance. Modern conveyor lines have a long length, so reducing the load on the supporting structures can reduce their metal content by 25 - 30%. Improving the operation of long conveyors requires the development of systems that optimize the mode of their operation on the basis of the minimum load on the supporting structures during the transportation of minerals.

Adaptive control of the belt conveyor by adjusting the speed of the working body of the conveyor, taking into account the parameters that are constantly changing, allows to increase the efficiency of production and reduce metal consumption.

The authors propose the principles of construction of an automated conveyor system, which differs in that it takes into account both the current and projected state of freight traffic. Timely detection of changes in the composition of the cargo flow allows you to quickly respond to new information and adjust control effects by implementing an adaptive regulator.

Results. The introduction of adaptive belt conveyor speed control systems is proposed according to the criterion of reducing the metal content of supporting structures, which allows to take into account the perturbing effects on supports due to changes in the composition of the cargo flow, it reduces the load on them and reduces metal consumption.

Key words: adaptive control, belt conveyor, metal capacity, cargo flow, dynamic load, automatic control system

УДК 621.771

Чубенко В.А., Ярош Т.П., Хіноцька А.А. Дослідження внутрішньої структури металу в процесах прокатування металовиробів

Мета роботи полягає у тому, щоб дослідити структурні перетворення металів і сплавів при обробці тиском для встановлення режимів обтиснення, які дозволять підвищити якість металовиробів. При розробці нових технологічних процесів прокатування особлива увага приділяється якості отриманих металовиробів, яка цілком залежить від внутрішньої будови металів і сплавів. У зв'язку з цим вивчення впливу режимів обтиснення на структуру металу є задачею актуальною, вирішення якої забезпечить отримання високоякісної продукції.

Методи дослідження базуються на використанні фундаментальних положень матеріалознавства та теорії обробки металів тиском. Експериментальні дослідження проводились з урахуванням особливостей визначення структури металу з використанням металографічного мікроскопу.

Наукова новизна полягає у вивченні впливу режиму обробки при обтисненні на ступінь аморфності металів і металевих сплавів.

Практична значимість роботи полягає у встановленні раціональних режимів обробки, що дозволяють підвищити якість металовиробів за рахунок збільшення ступеня аморфності.

Результати. Було здійснено мікроструктурний аналіз будови металів і сплавів та досліджено металографічні знімки мікрошліфів низьковуглецевої сталі, які показали, що структура металів і металевих сплавів складається з зерен і границь між ними. Запропоновано границі зерен вважати аморфними. Визначено залежність ступеня аморфності сталі від величини зерна внутрішньої будови та досліджено вплив швидкості охолодження на відношення температури аморфізації до температури плавлення, що дозволяє керувати процесом кристалізації. Проаналізовано вплив режимів обтиснення при обробці на зміну структури металовиробів. Встановлено режими обтиснення, що забезпечують інтенсивне збільшення величини аморфізації низьковуглецевої сталі. Визначено способи збільшення ступеня аморфності у внутрішній структурі сплавів, які забезпечують підвищення якості металовиробів.

Ключові слова: внутрішня будова, структура, зерна, мікрошліф, режими обтиснення, аморфізація, ступінь деформації

Chubenko V.A., Yarosh T.P., Khinotskay A.A. Research of internal structure of metal during rolling processes of metal products

Purpose. To study structural transformations of metals and alloys during treatment with pressure to determine reduction modes that improve quality of metal products. When developing new technological processes of rolling, special attention is paid to quality of obtained metal products, which completely depends on internal structure of metals. In this regard, research of reduction mode impact on metal structure is relevant task; solution of this task will ensure production of high-quality products.

Research methods are based on usage of fundamental provisions of materials science and theory of metal treatment with pressure. Experimental studies were carried out using metallographic microscope, taking into account specifics of determination of metal structure.

Scientific novelty lies in research of influence of treatment mode during reduction on degree of metal alloys amorphousness.

Practical significance of research is in determination of rational treatment modes that can improve quality of metal products by increasing amount of amorphization.

Results. Microstructural analysis of metals and alloys structure was performed and metallographic images of microsections of low-carbon steel, which showed that metals and alloys structure consists of grains and boundaries between them, were executed. Grain boundaries were accepted to be amorphous. Dependency between steel amorphousness degree and size of internal structure grain was determined, and effect of cooling speed on ratio of amorphization temperature to melting temperature was studied, which enables to control crystallization process. Influence of reduction modes during processing on change of metal products structure is analyzed. Reduction modes that provide intensive increase in amount of amorphization of low-carbon steel were identified. Methods for increasing degree of amorphousness in internal structure of alloys, which provide increase of products quality, were determined.

Key words: internal structure, structure, grain, microsection, reduction modes, amorphization, degree of deformation

УДК 528.48

Куліковська О. Є., Катусков В.О. Геодезія, картографія та кадастр в Японії

Мета. У зв'язку з появою сучасних вимог щодо забезпечення необхідною інформацією органів державної влади та органів місцевого самоврядування, зацікавлених підприємств, установ і організацій, а також громадян з метою регулювання земельних та інших відносин, визначення розміру плати за землю і цінності земель у складі природних ресурсів, контролю за використанням та охороною земель, економічного, екологічного обґрунтування бізнес-планів та господарських проектів постала мета проаналізувати практику організації геодезичних, картографічних і кадастрових робіт за кордоном на прикладі розгляду історії та сучасного стану картографо-геодезичного забезпечення, проведення кадастрових робіт на території Японії.

Методи дослідження. Поставлена мета та завдання дослідження зумовили використання загальнонаукових підходів, логічних законів побудови висновків, спеціальних методів пізнання. При виконанні завдань дослідження спиралося на світовий досвід застосування описового методу, порівняльно-історичного методу (компаративізму), історико-типологічного методу на підставі комплексного та системного підходів. Інформаційною базою проведення дослідження слугували збірники наукових праць, періодичні фахові видання, Інтернет-ресурси, нормативні документи.

Наукова новизна. Схарактеризовано вибір ефективних методів практики організації геодезичних, картографічних і кадастрових робіт за кордоном на прикладі розгляду історії та сучасного стану картографо-геодезичного забезпечення, проведення кадастрових робіт на території Японії.

Практична значимість. Відзначається цільовим спрямуванням даного дослідження для потреб фахівців геодезичної галузі та для землевпорядників для організації ефективної роботи щодо методів та способів збирання просторових даних, які можуть забезпечити оперативне автоматизоване отримання картографічної інформації з заданою точністю і необхідним обсягом інформації як для потреб країни, так і зацікавлених користувачів.

Результати. У роботі розглянуто історію та сучасний стан картографо-геодезичного забезпечення закордонної території, виконано аналіз практик організації геодезичних, кадастрових і картографічних робіт управлінням геопросторовою інформацією Японії. Показано правила проведення моніторингу та обстеження територій і споруд, описано правила проведення національної геодезичної й картографічної діяльності, які служать основою для землеустрою. Досліджено впровадження нової концепції інфраструктури просторових даних, яка одержала назву «цифрова Японія» і є доступною для всіх в Інтернеті.

Ключові слова: геодезія, картографія, кадастр, Японія, інфраструктура геопросторових даних, моніторинг

Kulikovska O. Ye., Katushkov V.O. Geodesy, cartography and cadastre in Japan

Purpose. In connection with the emergence of modern requirements to provide the necessary information to state authorities and local governments, interested enterprises, institutions and organizations, as well as citizens in order to regulate land and other relations, determine the amount of land payment and the value of land in the natural resources, control over the use and protection of land, economic, environmental justification of business plans and economic projects, it became necessary to analyze the practice of organizing geodetic, cartographic and cadastral work abroad on the example of considering the history and current state of cartographic and geodetic support, conducting cadastral work in Japan.

Research methods. The set goal and objectives of the study led to the use of general scientific approaches, logical laws for constructing conclusions, and special methods of cognition. When fulfilling the tasks, the research was based on the world experience in applying the descriptive method, the comparative historical method (comparativism), the historical typological method on the basis of an integrated and systematic approach. Collections of scientific papers, professional periodicals, Internet resources, and regulatory documents served as the information base for the study.

Scientific novelty. The choice of effective methods for conducting geodetic, cartographic, research, cadastral work abroad is characterized by the example of considering the history and current state of cartographic and geodetic support for the territory of Japan.

Practical significance. It is noted as the target direction of this study for the needs of specialists in the geodetic industry, for land surveyors in order to organize effective work on methods and methods for collecting spatial data that can provide prompt automated receipt of cartographic information with a given accuracy and the necessary amount of information as for the needs of the country, as well as for interested users.

Results. The paper considers the history and state of cartographic and geodetic support of foreign territory, analyzes the practices of organizing geodetic, cadastral, research and cartographic work by geospatial information management in Japan. The rules for monitoring and surveying territories and structures are shown, the rules for conducting national geodetic and cartographic activities are described, which serve as the basis for land management. The introduction of a new concept of spatial data infrastructure, called "digital Japan", which has become available to everyone on the Internet, has been studied.

Key words: geodesy, cartography, cadaster, Japan, spatial data infrastructure, monitoring

УДК 662.61

Ялова А.М., Бондар Н.В. Вплив шлакування та забруднення поверхонь нагріву на надійність роботи твердопаливних котлів на ТЕС

Мета роботи. Метою даної роботи є розробка проектних, прогнозних та управлінських рішень для забезпечення теплової ефективності та експлуатаційної надійності напіврадіаційних та конвективних поверхонь нагрівання. Аналіз працездатності твердопаливних теплових електричних станцій яка значною мірою залежить від надійності котельного обладнання.

Методи дослідження. у роботі використовувався загальнонаукові методи дослідження, метод теоретичного аналізу в процесі дослідження науково-практичних розробок та підходів, аналіз джерел з досліджуваної теми, формалізація побудованих моделей, використання методів теорії надійності, теорії множин, математичної логіки. Використано стандартизовані методи проведення теплових випробувань.

Наукова новизна. Наукову цінність являє аналіз теплової нерівномірності, перегрівів та прискореному вичерпанні запасу тривалої міцності металу. Вперше проведено узагальнюючий аналіз статистичної інформації, та оцінено динаміку змін утворення відкладені у котлах.

Практична значимість. Питання забруднення та шлакування поверхонь нагріву пилувугільних котлів по сьогодні зберігають свою актуальність, незважаючи на великий внесок у дослідження парогенераторів та вугілля. Традиційні проблеми характеризуються великими економічними збитками, пов'язаними з утворенням шлакових відкладень через недосконалість конструкцій котлів, методів їх розрахунку та контролю. На основі результатів проведених теплових досліджень котлів в експлуатаційному діапазоні навантажень складено проект нормативної характеристики шлакування та забруднення поверхонь нагріву. У процесі експлуатації було виявлено низку недоліків у роботі обладнання, пов'язаних з конструкцією котла, зі специфікою мінеральної частини палива.

Результати. Створено систему технічної діагностики для визначення інтенсивності шлакування та забруднення поверхонь нагріву в режимі реального часу в частині оцінки коефіцієнтів теплопередачі чистої та забрудненої поверхні теплообміну, що враховують конструктивні та режимні особливості як окремої поверхні, так і котла в цілому, що забезпечують адекватну оцінку показників теплової ефективності напіврадіаційних та конвективних поверхонь нагріву пилувугільного парового котла.

Ключові слова: котельний агрегат, шлакування поверхні нагріву, коефіцієнт теплової ефективності, теплопередача, коефіцієнт забруднення, система технічної діагностики, очищення

Yalova A.M., Bondar N.V. Influence of drossing and contamination of surfaces heating on reliability of solid fuel boilers in HES

Purpose. Development of project, prognosis and administrative decisions is for providing of thermal efficiency and operating reliability of semiradiation and convection surfaces of heating. Analysis of capacity of the thermal electric stations that work on a hard fuel that largely depends on reliability of caldrone equipment.

Research methods. The scientific methods of theoretical analysis in the research and practice developments and approaches, analysis of sources from the prospected theme, formalization of the built models, methods of theory of reliability, theory of sets, mathematical logic. The standardized methods of realization of thermal tests are used.

Scientific novelty. A scientific value is presented by the analysis of thermal unevenness, overheats and speed-up exhausting of margin of the protracted safety of metal. The summarizing analysis of statistical information is first conducted, and the dynamics of changes of formation is appraised set aside in caldrons.

Practical significance. The issue of contamination and slagging of heating surfaces of solid fuel boilers still remains relevant today, despite the great contribution to the study of boilers and coal. Traditional problems are characterized by large economic losses associated with the formation of slag deposits due to imperfections in boiler designs, methods of calculation and control. Based on the results of thermal studies of boilers in the operating range of loads, a draft regulatory characteristics of slag and contamination of heating surfaces. During operation, a number of shortcomings in the operation of equipment related to the design of the boiler, with the specifics of the mineral part of the fuel.

Results. The system of technical diagnostics is created for determination of intensity of drossing and contamination of surfaces of heating real-time in part of estimation of coefficients of heat transfer of clean and muddy surface of heat exchange, that take into account the structural and regime features of both separate surface and caldrone on the whole, that provide the adequate estimation of indexes of thermal efficiency of semiradiation and convection surfaces of heating of coal steam-boiler.

Key words: caldrone aggregate, drossing of surface heating, coefficient of thermal efficiency, heat transfer, coefficient of contamination, system of technical diagnostics, cleaning.

УДК 316.6

Турило А.М. Інтелектуальний і людський капітал в умовах інформаційно-інноваційної економіки – ключовий чинник адаптації і економічної безпеки підприємства

Мета. Метою даної роботи є дослідження інтелектуального і людського капіталу в умовах формування й функціонування інформаційно-інноваційної економіки та їх ролі й впливу на процеси адаптації і забезпечення економічної безпеки підприємства.

Методи дослідження. В процесі дослідження для змістовного розкриття сутності проблеми було використано методи наукової абстракції, структурно-декомпозиційної, аналізу та синтезу, логічного узагальнення, причинно-наслідкового зв'язку, логіко-прогностичний, змістовно-порівняльний.

Наукова новизна. Визначено зміст категорії «інтелект». Обґрунтовано необхідність і актуальність використання в науково-дослідницькій, навчально-методичній і методико-прикладній сферах категорій «добрий інтелект» і «добродітний інтелектуальний капітал». Представлено структурні елементи духовно-морального капіталу і розкрито його значимість стосовно впливу на всі інші складові людського капіталу. Розмежовано за змістовним за змістовним аспектом добродітний і еґотичний інтелектуальний капіталю Удосконалено структуру людського капіталу відносно підприємства, як об'єкта дослідження в аспекті «людський капітал» підприємства «живий» і людський капітал підприємства «неживий». Визначено сфери, напрями і особливості розгляду і оцінки категорії «людський капітал». Запропоновано структурно-логічну формулу щодо можливого оцінювання рівня і величини людського капіталу.

Практична значимість. Представлений матеріал конкретизує зміст, підвищує науковий рівень і можливості обґрунтованого використання відзначених даних роботі термінів і категорій в різних сферах життєдіяльності людини, зокрема в економічній.

В роботі розмежовано за змістом такі поняття і категорії, як знання, розум, інтелект, інтелектуальний капітал. Акцентовано увагу відображено роль інтелекту та інтелектуального капіталу у формуванні і розвитку високоякісного суспільства, що базується на принципах моралі, духовності, демократизма, справедливості, прогресу тощо. Показано, що на рівні підприємства якість людського капіталу робітника – це ключовий чинник його економічної безпеки, адаптації та соціальної і економічної ефективності.

Запропоновано методико-прикладний підхід до оцінювання людського капіталу.

Результати. Визначено сутність і складові елементи таких категорій як «інтелектуальний капітал», «духовно-моральний капітал», «людський капітал підприємства», «людський капітал робітника». Надано логіко-методичні підходи до оцінювання рівня і величини людського капіталу.

Ключові слова: інтелектуальний капітал, духовно-моральний капітал, людський капітал, людський капітал підприємства, людський капітал робітника, економічна безпека підприємства.

Turylo A.M. Intellectual and human capital in the information and innovation economy as a key factor in the adaptation and economic security of the enterprise

Purpose. The purpose of this work is to study the intellectual and human capital in the formation and functioning of information and innovation economy and their role and impact on the processes of adaptation and economic security of the enterprise.

Research methods. In the course of the research, methods of scientific abstraction, structural-decompositional, analysis and synthesis, logical generalization, causal connection, logical-prognostic, content-comparative were used to reveal the essence of the problem.

Scientific novelty. The content of the category "intelligence" is determined. The necessity and urgency of using the categories of "good intelligence" and "virtuous intellectual capital" in the research, teaching and methodological and applied spheres are substantiated. The structural elements of spiritual and moral capital are presented and its significance in relation to the impact on all other components of human capital is revealed. Distinguished in terms of content in terms of content and virtuous and selfish intellectual capital Improved the structure of human capital in relation to the enterprise as an object of study in terms of "human capital" of the enterprise "living" and human capital of the enterprise "inanimate". The spheres, directions and features of consideration and estimation of the category "human capital" are defined. A structural and logical formula for a possible assessment of the level and magnitude of human capital is proposed.

Practical significance. The presented material concretizes the content, increases the scientific level and possibilities of reasonable use of the terms and categories noted in this work in various spheres of human life, in particular in economics.

The paper distinguishes the content of such concepts and categories as knowledge, intelligence, intelligence, intellectual capital. Emphasis is placed on the role of intelligence and intellectual capital in the formation and formation and development of a high quality society based on the principles of morality, spirituality, democracy, justice, progress and more. It is shown that at the enterprise level the quality of human capital of the worker is a key factor in his economic security, adaptation and social and economic efficiency.

A methodological and applied approach to the evaluation of human capital is proposed.

Results. The essence and constituent elements of such categories as "intellectual capital", "spiritual and moral capital", "human capital of the enterprise", "human capital of the worker" are determined. Logical and methodological approaches to estimating the level and magnitude of human capital are given.

Key words: intellectual capital, spiritual and moral capital, human capital, human capital of the enterprise, human capital of the worker, economic security of the enterprise.

УДК 622.73:621.926

Shvets D.V. Iron ore grinding process at the concentrating plant under fuzzy and incomplete parameters

Purpose. To model the first technological phase of iron ore grinding process in the mill and classification at the concentrating plant, to control over the grinding process in terms of stochasticity of technological parameters.

Research methods. The methods of automatic control theory and mathematical modeling are to estimate transients; fuzzy logic methods are to control over the processing iron ore raw materials with fuzzy and incomplete technological parameters.

Scientific novelty. The listed iron ore processing parameters that most influence the grinding process enable to improve the existing mathematical models of processing iron ore raw materials at the first stage of grinding and classification at the ore-processing plants.

Practical significance. The fuzzy logic automatic control system of the first ore grinding and classification meets effectively the challenges that cannot be solved by classical methods due to high complexity and lack of sufficient technological data. Formalizing the rules for a fuzzy approach provides more precise result and is superior to others. Fuzzy logic can formalize the dependencies of any complexity, parameters in the controller with fuzzy logic can vary, fuzzy models are highly adaptable to expert data.

Results. The structural and functional analysis of the iron ore processing; the characteristics of technological parameters influencing the quality of grinding ore raw materials. The automated control of a first stage mill with fuzzy logic regulator consider the following technological input parameters: productivity of input ore, water consumption in the mill, ore hardness coefficient correlated with total iron content in ore, and sand consumption in the unloading cycle. A system of automatic control of the mill based on fuzzy logic was developed; a study of the operation of the mill using the Simulink tool for modeling and analysis of dynamics.

Key words: iron ore, grinding, mill, fuzzy logic, automated control, mathematical model.

Швец Д. В. Дослідження технологічного процесу подрібнення залізної руди в умовах рудозбагачувальної фабрики при нечітких і неповних технологічних параметрах

Мета. Моделювання технологічного процесу переробки залізної руди в млині на першій стадії подрібнення та класифікації рудозбагачувальної фабрики та керування процесом подрібнення в умовах стохастичності технологічних параметрів.

Методи дослідження. В ході моделювання технологічного процесу подрібнення залізної руди використовувалися методи теорії автоматичного керування і математичного моделювання для оцінки перехідних процесів, методи нечіткої логіки для керування процесом переробки залізородної сировини при нечітких і неповних технологічних параметрах.

Наукова новизна. Отримано перелік параметрів процесу переробки залізної руди, що найбільше впливають на перебіг технологічного процесу подрібнення. Врахування отриманих параметрів дає змогу вдосконалити існуючі математичні моделі процесу переробки залізородної сировини на першій стадії подрібнення та класифікації в умовах рудозбагачувальних фабрик.

Практичне значення. Побудова системи автоматичного керування процесом переробки залізної руди на першій стадії подрібнення і класифікації з використанням нечіткої логіки може вирішити деякі складні задачі, які не можуть бути вирішені класичними методами через високу складність і відсутність достатньої кількості технологічних даних. Формалізація правил для нечіткого підходу порівняно з іншими дає більш точний результат, що є перевагою такого підходу. Нечітка логіка може формалізувати залежності практично будь-якої складності, параметри у регуляторі з нечіткою логікою можуть бути різнотипними, нечіткі моделі мають високу здатність адаптації до експертних даних.

Результати. Проведено структурно-функціональний аналіз процесу переробки залізної руди, визначено характеристики технологічних параметрів, що впливають на якість процесу подрібнення залізородної сировини. Встановлено, що при автоматизованому керуванні млином першої стадії переробки залізородної сировини на основі регулятора нечіткої логіки потрібно враховувати наступні технологічні вхідні параметри: продуктивність по вхідній руді, витрати води в млин, коефіцієнт міцності руди, який корелює з вмістом заліза загального в руді, і витрати пісків у циклі розвантаження. Розроблено систему автоматичного керування млином на основі нечіткої логіки, а також проведено дослідження роботи млина з використанням інструменту моделювання та аналізу динамічних систем Simulink.

Ключові слова: залізна руда, подрібнення, млин, нечітка логіка, автоматизоване керування, математична модель.

Збірник наукових праць

В і с н и к
Криворізького національного університету

Випуск 53

Редактор, коректор
Комп'ютерний набір, верстка

Апанащенко С.І.
Підпригора Н.П.

Здано в набір 02.12.21. Підписано до друку 08.12.21 за рекомендацією Вченої Ради
Криворізького національного університету, протокол № 4 від 30.11.2021 року
Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 22,66. Тираж 100 прим.

Замовл. № 11. Укр., англ.

Надруковано:
ФОП Сінельников Дмитро Анатолійович
Державна реєстрація №2227000000063097
від 27.07.2016р
50050, м. Кривий Ріг, пр.Металургів, 30/49.
тел. (067) 777-17-33

Адреса видавництва:
вул. Віталія Матусевича, 11, Кривий Ріг, 50027

Криворізький національний університет, 2021.
Вип. 53, С. 3-192